SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

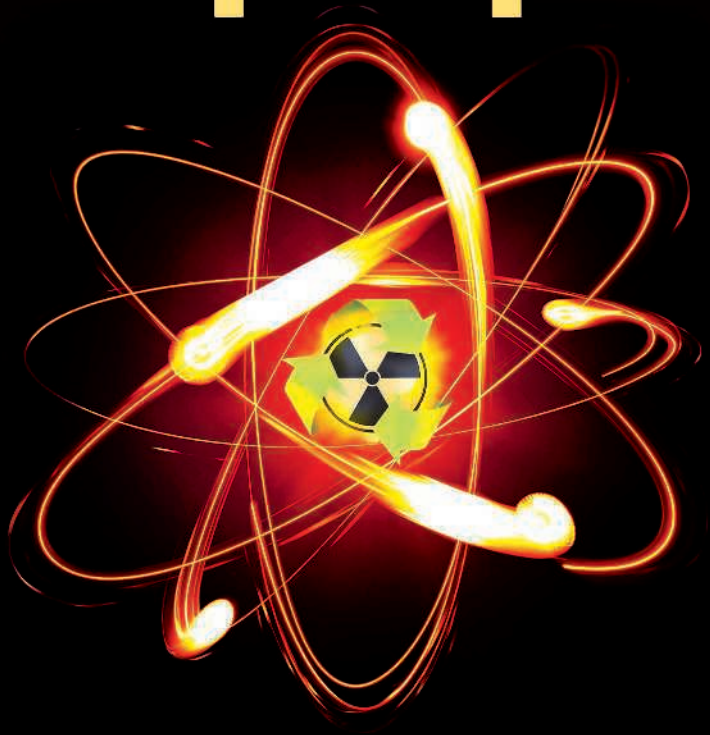
© ROMAN SIGAEV/SHUTTERSTOCK

Dossier spécial

EPR
Fusion
Thorium
Sels fondus
Mini-centrales

LE NUCLÉAIRE peut-il être propre ?

p.30



VIKINGS
Un bateau-tombe exploré p.80

PHYSIQUE
On a créé un cristal d'électrons p.51

NUTRITION
Les substituts de viande à la loupe p.66

MARS 2022 - N° 901 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / DOM 5,90 € / DOM-AVION 7,90 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8,60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $

L 13418 - 901 - F: 5,30 € - RD

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 901 - MARS 2022 - LE NUCLÉAIRE PEUT-IL ÊTRE PROPRE ?

Un conseiller face à vous, c'est toute une banque à vos côtés.

Conseillers, experts patrimoniaux, financiers ou immobiliers, gestionnaires de portefeuilles : quels que soient vos projets, nous mobilisons tous nos experts pour vous aider à les réaliser.

C'est sans doute cet engagement et cette implication qui nous ont permis d'être récompensés en 2022 pour la qualité de notre accompagnement dans la réalisation de vos projets*.

Rendez-vous sur hsbc.fr/expert

SATISFACTION CONSEILLER PROJETS 2022 LES TROPHÉES DE LA BANQUE HSBC

HSBC

*Les « Trophées de la Banque - Qualité 2022 » sont décernés par MoneyVox. L'édition 2022 de cette étude a été menée avec l'institut Opinion Way sur un échantillon de 5 010 personnes (représentatives de la population française en termes de sexe, âge, et région). Continental Europe - Société anonyme au capital de 491 155 980 euros - SIREN 775 670 284 RCS Paris. Siège social : 38 avenue Kléber 75116 Paris. Banque et intermédiaire en assurance immatriculé auprès de l'ORIAS (Organisme pour le Registre des Intermédiaires en Assurance - orias.fr) sous le n° 07 005 894. Crédit photo : Getty

ÉDITORIAL

Dominique Leglu
Directrice éditoriale

BERNARD MARTINEZ

Curiosité, risque et brevets

Une singulière fébrilité des deux côtés de l'Atlantique, et aussi outre-Manche, devrait saisir les milieux scientifiques soumis à de nouvelles injonctions. Leur relance, entend-on ici et là, doit s'effectuer en deux séquences complémentaires : en amont, pour la science la plus fondamentale et en aval, pour le transfert des connaissances, quand il s'agit de faire muter découvertes et inventions en innovations, de préférence utiles à la société… La crainte des avancées chinoises piquerait-elle l'Occident au vif ?

Liberté pour la recherche. Depuis Bruxelles, on entend l'immunologiste allemande Maria Leptin — qui vient de succéder au Français Jean-Pierre Bourguignon à la tête du Conseil européen de la recherche (ERC) — rappeler que les scientifiques, pilotés par leur seule curiosité, posent aujourd'hui *« les bases de ce qui pourrait constituer, demain, les solutions d'avenir »*. Encore faut-il leur laisser entière liberté, ce à quoi aident les allocations de l'ERC, dont les montants ne doivent surtout pas diminuer.

Souci de partage. En France, l'Agence nationale de la recherche (ANR) clame aussi vouloir donner une impulsion nouvelle. À preuve, ce document publié début février, préfacé par son P-DG soi-même. Dans « Covid-19 : premier rapport d'étape des actions et des projets financés », Thierry Damerval insiste sur le *« dispositif spécifique »* mis en place dans l'urgence à cause de la pandémie — 279 projets financés, 321 publications académiques fin octobre 2021. Qui plus est, sont rappelés 19 dépôts de brevets et l'assurance que *« les chercheurs ont le souci de partager au plus vite les connaissances acquises »*. La non-découverte — au pays de Pasteur, Lwoff, Jacob et Monod — de l'utilisation de l'ARN pour un vaccin ultramoderne l'aurait-elle piqué au vif ?

Cherchez l'erreur française. Le Sénat, lui, met les pieds dans le plat. Des auditions menées par Vanina Paoli-Gagin voient défiler P-DG du CNRS, de l'ANR, d'Inria, présidents d'universités et de la conférence des grandes écoles, ou encore ministre de la Recherche. Ce qui frappe ici ? Le titre de la mission d'information : « Excellence de la recherche/innovation, pénurie de champions industriels : cherchez l'erreur française ». De quoi être réellement piqué au vif !

Initiatives disruptives. Outre-Manche, le gouvernement post-Brexit monte d'un cran. Il fait appel au directeur adjoint de la Darpa — cette agence destinée à catalyser le développement de technologies permettant aux États-Unis de rester au top (surtout dans le domaine militaire) — pour diriger ARIA, une nouvelle agence sœur britannique. Son homologue nommée JEDI (Joint European Disruptive Initiative), encore mal connue, s'efforce ici de mettre au défi institutions de recherche et entreprises sur des questions clés — numérique, santé, décarbonation… Fébrilité, vous dis-je. ■

@dominiqueleglu

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

Interactions

Je lis avec délectation l'article *« Comment dépasser Newton et Einstein »* (*Sciences et Avenir* n° 900, février 2022), et je m'interroge sur votre présentation de l'interaction gravitationnelle par rapport à l'interaction électromagnétique : vous supposez que la première serait de portée infinie alors que la seconde… non. Pourtant les photons traversent bien l'Univers…

David Daniel

Gabriel Chardin* : Les interactions électromagnétique et gravitationnelle ont des vecteurs d'interaction (le photon et le graviton) de masse nulle. Donc, de la même façon, les deux interactions sont de portée infinie. La différence tient à l'« écrantage » [l'affaiblissement] ou non de ces deux forces. L'interaction électromagnétique est écrantée facilement du fait qu'il existe des porteurs de charge des deux signes — par exemple électron (-) et proton (+). Tandis que l'interaction gravitationnelle n'est pas écrantée dans les deux cas où l'on ne considère que des masses positives (ce qui est l'hypothèse habituelle), mais aussi si l'on s'autorise des particules de masse négative au sens où on les définit dans l'Univers de Dirac-Milne. En résumé, un proton peut annuler l'effet d'un électron et jouer le rôle d'écran. Tandis que rien ne peut se mettre devant l'attraction gravitationnelle exercée par la Terre…

* chercheur au CNRS, plusieurs fois cité dans ce dossier sur la gravitation.

Newton dépassé ?

Merci pour l'article *« L'insaisissable constante de Newton »* (*Sciences et Avenir* n° 900) qui montre la science expérimentale en marche. Mais si la théorie de la relativité a remplacé la théorie de la gravitation de Newton, pourquoi chercher cette constante G qui fait partie d'une théorie dépassée ?

Jean-Marie Sebillaut

S. et A. : La théorie de la gravitation d'Einstein est certes plus englobante que celle de Newton. Mais la constante de proportionnalité G apparaît dans chacune des deux théories. Et dans toutes les théories de la gravitation au demeurant, comme la théorie MOND par exemple. Il s'agit en effet de la même grandeur. Si on cherche à la mesurer au travers de l'équation de Newton, c'est parce que cette dernière recoupe les formalismes d'Einstein à de petites distances, et que c'est la seule manière dont les physiciens disposent pour la caractériser en laboratoire (les autres paramètres de l'équation étant connus). C'est néanmoins une gageure, parce que son intensité est très faible et qu'aucune sorte d'écran ne peut lui faire barrage.

Précision

Manioc. Dans l'article sur les virus cachés dans les herbiers du muséum (*S. et A.* n° 899, janvier 2022), il fallait lire que le manioc est originaire d'Amérique du Sud et non d'Afrique.

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Carole Chatelain
Directrice de la rédaction

Nucléaire, vous avez dit vert ?

En cette période préélectorale, le sujet est omniprésent : pas un débat, pas un candidat réparti sur l'ensemble de l'échiquier politique, qui n'aborde la question du nucléaire. Sous tous les angles : sûreté, sécurité, indépendance énergétique… mais aussi performance écologique. Car l'une des questions centrales est celle-là, posée en couverture de notre dossier du mois : le nucléaire peut-il être propre ? Peut-il se targuer de n'émettre aucun gaz à effet de serre, comme le proclament ses partisans et comme vient de l'assurer la Commission européenne qui lui a accordé un label « vert », mettant en avant son bilan carbone comparable à celui de l'éolien, et même inférieur à celui du solaire ? Autrement dit, le nucléaire est-il une solution viable et fiable pour tenter de sortir de la crise climatique ? Une panacée contestée par ses opposants qui invoquent les risques avérés d'incidents, voire d'accidents dont l'impact serait bien sûr majeur. Sans oublier l'épineux problème des déchets radioactifs, talon d'Achille de la filière, et dont une partie attend toujours d'être stockée dans des centres géologiques profonds. Alors, propre ou pas propre ? Nos journalistes Franck Daninos, Rachel Mulot, Fabrice Nicot et Sylvie Rouat ont mené une minutieuse et difficile enquête, recoupant chiffres et données — souvent très disparates selon les pays et les acteurs — pour démêler la réalité scientifique, au-delà des enjeux politiques et stratégiques. Et pour établir le véritable impact de cette source d'énergie sur l'environnement. Pour cela, ils ont aussi passé au crible les différentes technologies existantes ou celles en devenir : les mini-centrales, qui devraient se compter par milliers d'ici à 2030 ; les réacteurs à fusion (Iter), encore expérimentaux et dont les premières installations ne devraient pas voir le jour avant la seconde moitié du XXIe siècle ; les réacteurs à sels fondus sur lesquels misent la Chine et le Canada, mais aussi plus de 70 start-up dans le monde. Ce mois-ci, nous vous invitons également à quitter la Terre pour aller explorer les futures cultures de fruits et légumes dans des fermes… lunaires. Et, toujours côté fourchette, à découvrir les atouts et revers des alternatives végétales industrielles à la viande.

> « Une minutieuse et difficile enquête pour démêler la réalité scientifique, au-delà des enjeux politiques et stratégiques »

De quoi déguster ce numéro sans modération ! ■ @carolechatelain

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Directrice de la rédaction Carole CHATELAIN - 01.55.35.56.57
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Rédacteurs en chef Mathieu NOWAK (mensuel) - 01.55.35.56.38
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la direction de la rédaction
Rachel MULOT (cheffe de service enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Bernadette ARNAUD (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44 - Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (grand reporteure, espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueurs Sylvie BENZONI, Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH
Ont participé à ce numéro C. BELL, P. BERLOQUIN, N. GUTIERREZ C., P. KALDY, N. MAHAUT, F. MALLORDY
Secrétaire de rédaction
Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49 - Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Directeur général Philippe MENAT
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Christophe PERRUSSON
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur délégué Philippe LÉONARD - 01.44.88.89.18
Directeur de publicité Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : Claude PERDRIEL
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. - Tél. : 01.55.35.56.00

Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,014 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées
PEFC 10-31-1557 pefc-france.org
FR
ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte un message « Paris Match » et un encart « la montre chrono H51-HAWK-Vuillemin Regnier » jetés sur couverture en diffusion totale des abonnés, ainsi que les encarts « Linvosges» et « Société Française des Monnaies » jetés sur couverture en diffusion partielle des abonnés. Commission paritaire n° 0625 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par MLP.

EUROPE MATIN 6H30-9H
DIMITRI PAVLENKO
Écouter
L'INTERNATIONAL,
LA SOCIÉTÉ, LA CULTURE,
L'ÉCONOMIE, LA POLITIQUE,
LES ENJEUX D'AUJOURD'HUI
ET DE DEMAIN.
LE POUVOIR DE L'ÉCOUTE
Europe 1
FLASHEZ POUR ÉCOUTER
EN PODCAST
CapaPictures / Europe 1

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 901 / Mars 2022

DOSSIER P. 30

Le nucléaire peut-il être propre ?

Certes, les centrales nucléaires affichent un bon bilan carbone. Mais peut-on pour autant parler d'énergie propre si l'on prend en compte les déchets radioactifs, les pollutions persistantes et les risques de catastrophes ? Enquête.

P. 46

Fermes spatiales : les défis de l'agriculture hors-sol

Reportage dans une start-up française qui conçoit des biosphères autonomes produisant des plantes pour alimenter les futures missions lunaires et martiennes.

P. 66

Steaks végétaux : les substituts de viande sur la sellette

Renoncer à la viande sans renoncer au steak : c'est la promesse vendue par les industriels qui confectionnent des imitations végétales. Enquête.

P. 80

Vikings : les bateaux-tombes livrent leurs secrets

Le navire funéraire de Gjellestad, découvert en 2018, commence à dévoiler le mystère des rites entourant le passage symbolique vers le paradis des guerriers.

3 **Éditorial** par Dominique Leglu
4 **Courrier**
5 **Édito** par Carole Chatelain

SCIENCES FONDAMENTALES

8 **ACTUALITÉS** Mars aussi fut une planète bleue / 70 planètes errantes identifiées dans la Voie lactée
46 **Fermes spatiales : les défis de l'agriculture extraterrestre**
51 **Le cristal d'électrons, un rêve de physicien devenu réalité**
54 **Entretien avec Emmanuel Bacry,** directeur scientifique du Health Data Hub

NATURE

14 **ACTUALITÉS** Une éruption volcanique rare dans le Pacifique / Le virus de la dengue force le moustique à piquer
56 **Le loup en France : mieux le comprendre pour mieux vivre avec lui**
62 **L'origine de la carapace des tortues enfin dévoilée**

SANTÉ

20 **ACTUALITÉS** Un nouvel implant fait remarcher des paraplégiques / Les empreintes digitales ne dépendent pas de la peau
66 **Steaks végétaux : les substituts de viande sur la sellette**
70 **Pourquoi le soleil provoque des éternuements**
74 **Nutrition : les bienfaits méconnus des fromages**

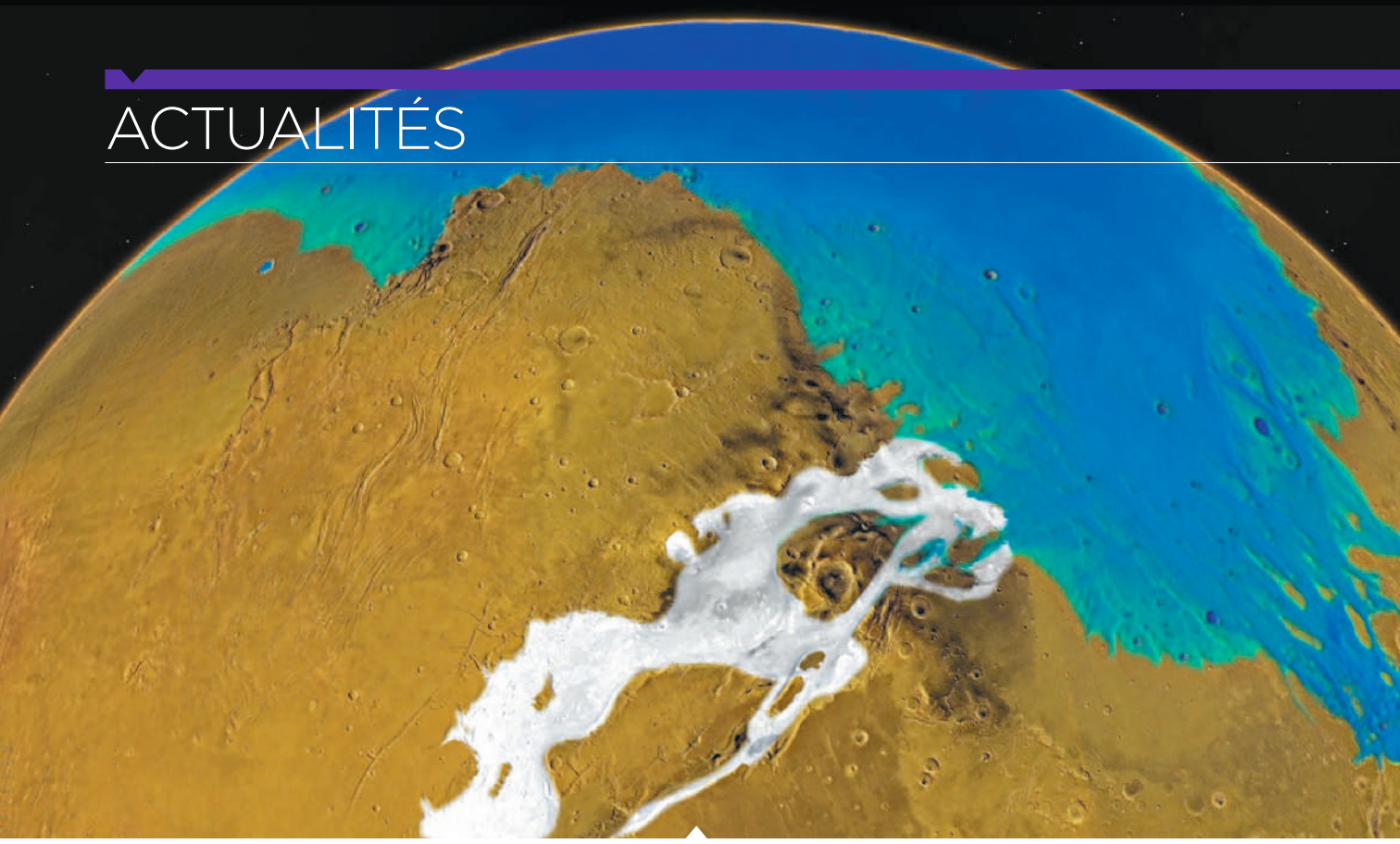
HISTOIRE

26 **ACTUALITÉS** « Sapiens » et Neandertal auraient bien cohabité / Les premières pailles étaient en or
80 **Vikings : des bateaux-tombes pour l'ultime voyage des guerriers**
84 **« Homo sapiens » prend un coup de vieux**

TRANSVERSALES

88 **Sélection livres**
92 **Expositions**
93 **Le ciel de novembre**
94 **Chroniques**
Climat par Céline Guivarch et Christophe Cassou / Mathématiques par Sylvie Benzoni / Éthique par Jean-Gabriel Ganascia / L'œil d'Olivier Lascar
96 **Questions de lecteurs**
97 **Solutions des jeux**
98 **Jeux**

GILLES ROLLE/REA - INTERSTELLAR LAB - BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE - MARGRETHE K. H. HAVGAR / AFP



Les glaciers de haute altitude auraient pu faire descendre la neige et alimenter ainsi l'océan (vue d'artiste réalisée d'après les simulations).

NASA / USGS / ESA / DLR / FU BERLIN (G. NEUKUM)

Mars aussi fut une planète bleue

Un océan aurait recouvert les régions polaires de l'hémisphère nord il y a 3 milliards d'années.

Mars n'a pas toujours été la planète froide et désertique qu'on observe aujourd'hui. Elle abritait jadis des lacs et rivières qui ont laissé leur empreinte dans la géologie… mais probablement aussi un immense océan. Situé dans les régions polaires de l'hémisphère nord, celui-ci devait avoir une profondeur de 2000 mètres en moyenne et couvrir une surface dix fois plus importante que la mer Méditerranée. Surtout, il devait être encore stable il y a 3 milliards d'années, soit 1,5 milliard d'années après la formation de Mars et des autres planètes du Système solaire. Une étude franco-américaine publiée dans la revue *PNAS* conforte cette hypothèse en fournissant, pour la première fois, des arguments climatiques. Ils s'ajoutent aux indices géomorphologiques collectés depuis plus de trente ans par les robots martiens.

Une simulation du système climatique

Dès les années 1980, les sondes américaines Viking photographient ce qui s'apparente en effet à des lignes de rivage. Dans les années 2000, grâce à son altimètre laser, l'orbiteur Mars Global Surveyor confirme que ces lignes sont toutes à la même altitude, renforçant ainsi la thèse d'un océan permanent. Et des traces de tsunamis, provoqués manifestement par la chute d'un astéroïde il y a trois milliards d'années, sont mêmes identifiées en 2018 et 2019.

« Il manquait toutefois une démonstration théorique : un modèle expliquant comment le climat martien aurait pu préserver un océan sur une aussi longue période », note Frédéric Schmidt, chercheur au laboratoire Geops de l'université Paris-Saclay. C'est cette pièce manquante que son équipe apporte. Grâce à des simulations informatiques complexes, elle montre que les glaciers ont pu faire redescendre la neige des montagnes et alimenter l'océan ; et que la circulation océanique, qui conduit l'eau chaude vers les régions polaires, aurait permis de conserver une température légèrement supérieure à 4 °C, au-dessus du point de congélation. L'atmosphère devait quant à elle être composée de 90 % de dioxyde de carbone et 10 % de dihydrogène, un puissant gaz à effet de serre issu du volcanisme notamment.

« Si ce scénario se confirme, Mars aurait pu être propice au développement de la vie il y a trois milliards d'années. Car à la même période sur Terre, la vie explosait et commençait à conquérir de nombreux écosystèmes », rappelle Frédéric Schmidt. Mars, par la suite, a peu à peu perdu son atmosphère, son climat et donc son océan. ■ **F. D.**

Un mystérieux signal met au défi les astronomes

Ce flash régulier ne ressemble à aucun phénomène connu.

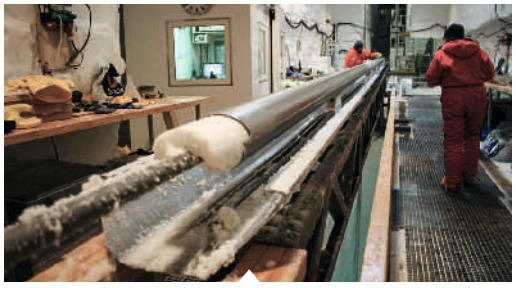
Un flash émis dans la Voie lactée, à 4000 années-lumière de la Terre, a été observé dans le domaine des ondes radio basses fréquences par une équipe d'astronomes australiens. Il nous parvient toutes les 18 minutes et 11 secondes. Pour l'instant, les chercheurs se perdent en conjectures sur l'origine de cette source très brillante qui ne ressemble à rien de connu. Le plus approchant serait les pulsars, des étoiles à neutrons qui émettent justement un fort rayonnement électromagnétique. Mais la fréquence du signal d'un pulsar est bien supérieure — de l'ordre de la milliseconde et jusqu'à la dizaine de secondes. Autre candidat : un magnétar à période ultra-longue. Cette sorte de cousin des pulsars, doté d'un très fort champ magnétique, n'a pour l'instant jamais été observé. La diversité des fréquences captées laisse à penser que l'objet ne correspond pas à un message radio que nous adresserait une lointaine civilisation. **F. N.**

PETE WHEELER, ICRAR

Les ondes énigmatiques ont été détectées par les antennes du télescope australien MWA, qui opère dans les basses fréquences.

EN DEUX MOTS

ESPACE Le télescope James-Webb s'est installé avec succès en orbite au point de Lagrange 2, à 1,5 million de kilomètres de la Terre, et devrait livrer ses premières images d'ici à juillet. **INFORMATIQUE** Le groupe Meta (Facebook) a présenté son nouveau supercalculateur censé aider ses chercheurs en IA à développer ses « mondes virtuels », les métavers. **ISS** La Nasa prévoit de prolonger l'activité de la Station spatiale internationale jusqu'en 2030, puis de la désorbiter pour la faire plonger en janvier 2031 dans le Pacifique Sud.



RAIMUND MUSCHELER

L'analyse des glaces a permis de prouver l'éruption.

Une violente tempête solaire survenue il y a presque 10 000 ans

ASTRONOMIE Une éruption de grande ampleur a touché la Terre il y a 9125 ans. Des chercheurs ont retrouvé dans les glaces du Groenland et de l'Antarctique des traces d'isotopes du béryllium et du chlore, deux particules émises en grande quantité lors d'une tempête solaire. Problème : le Soleil était à l'époque dans un minimum d'activité. Cette tempête n'aurait donc jamais dû survenir. **F. N.**

SOURCE : CHIARA PALEARI, UNIVERSITÉ DE LUND, SUÈDE.

La face cachée de la Lune a un sol plus collant

EXPLORATION **Les poussières qui tapissent la face cachée de la Lune sont plus collantes que celles sur la face visible. C'est ce qu'a pu constater le rover chinois Yutu-2 qui explore depuis 2019 cette partie encore mystérieuse. Le régolithe s'accroche en effet beaucoup plus à ses roues que sur celles de son prédécesseur Yutu, qui a déambulé sur la face visible jusqu'en 2016. La raison tiendrait dans l'âge des poussières : plus anciennes, celles de la face cachée s'agglutineraient plus facilement.** **F. D.**

SOURCE : LIANG DING, INSTITUT DE TECHNOLOGIE DE HARBIN, CHINE.

Un drone conçu à partir d'un croquis de Léonard de Vinci

INGÉNIERIE Elle vole ! La vis aérienne imaginée par Léonard de Vinci à la fin du XV^e^ siècle, considérée comme l'ancêtre de l'hélicoptère mais jamais testée, a servi de modèle à un étudiant tout juste diplômé en génie aérospatial pour mettre au point un drone fonctionnel. Seule différence avec le croquis et le descriptif figurant dans les carnets du maître, l'engin est équipé de quatre ailes au lieu d'une, fixées sur un drone quadrimoteur. **A. D.**

SOURCE : AUSTIN PRETE, UNIVERSITÉ DU MARYLAND, ÉTATS-UNIS.

AUSTIN PRETE/UNIVERSITY OF MARYLAND

L'aéronef s'inspire de la vis aérienne imaginée par l'artiste et savant italien en 1480.

R. TITO D'AGNOLO

QUESTIONS À

Raffaele Tito D'Agnolo,

chercheur à l'université Paris-Saclay

Des univers multiples expliquent la légèreté du boson de Higgs

Deux physiciens démontrent dans une étude que la théorie des univers multiples résout le problème de la masse du boson de Higgs : dans toutes les expériences, la « particule de Dieu » s'avère trois fois moins massive que ce que le modèle standard de la physique prédit.

Quel est le problème avec la masse du boson de Higgs ?

Si sa détection en 2012 au Cern a plus que jamais renforcé le modèle standard de la physique des particules, elle a aussi souligné l'une de ses incohérences majeures : ce modèle prédit une masse au boson de Higgs au moins triple de celle mesurée par les expériences. Nous proposons une explication de cet écart à partir de l'hypothèse d'une multitude d'univers coexistant.

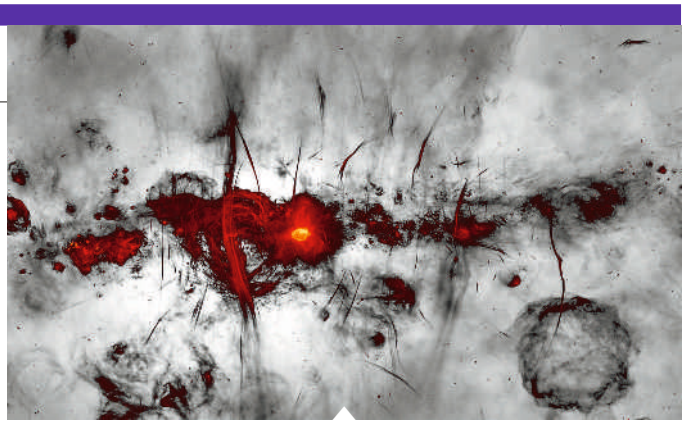
En quoi consiste votre modèle ?

Nous supposons qu'au début de l'histoire de notre cosmos, il existait une multitude d'univers. Certains contenaient un boson de Higgs lourd, d'autres une version très légère. Nous démontrons que les seuls univers ayant pu survivre sont ceux dans lesquels la masse du boson de Higgs aurait été justement petite. Les univers contenant un boson de Higgs lourd, trop instables, seraient devenus si infimes qu'aucune galaxie n'aurait pu s'y former.

Une multitude d'autres univers que le nôtre aurait donc survécu ?

Oui, mais leur nombre serait tout à fait impossible à estimer. Nous sommes incapables de calculer les probabilités car la période d'expansion de ces univers pourrait encore être en cours, et ce de façon perpétuelle. Plus simplement, une infinité d'univers pourrait être créée en ce moment même, rendant impossibles les calculs.

Propos recueillis par M. B.


I. HEYWOOD, SARAO

Les émissions les plus importantes (en rouge) du centre de la galaxie témoignent de l'intensité de l'activité stellaire.

Le centre de la galaxie bouillonne d'énergie

ASTRONOMIE Près de 200 heures d'observation ont été nécessaires au radiotélescope MeerKat situé en Afrique du Sud pour capturer cette image inédite du cœur de la Voie lactée, dans la région de son trou noir central. Les 64 antennes paraboliques disséminées sur des dizaines de kilomètres de désert ont permis d'observer des coques de matière créées par des explosions d'étoiles massives. **S. R.**

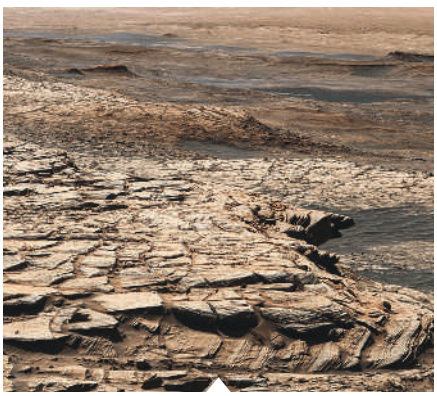
SOURCE : F. YUSEF-ZADEH, UNIVERSITÉ NORTHWESTERN, ÉTATS-UNIS

4×10^{19} Le nombre de trous noirs stellaires dans l'Univers

ASTROPHYSIQUE Des astrophysiciens ont pu estimer la quantité de matière ordinaire de l'Univers observable, « piégée » sous forme de trous noirs stellaires. Ils ont couplé les modèles détaillés d'évolution des étoiles avec des connaissances sur le taux de formation stellaire et d'enrichissement des éléments dans les galaxies. Et aboutissent donc à ce nombre colossal : 40 milliards de milliards de trous noirs. **P. P.**

SOURCE : ALEX SICILIA, SISSA, ITALIE

Une possible bio-signature sur Mars


NASA/CALTECH-JPL/MSSS

Les échantillons de carbone analysés par la Nasa proviennent du cratère Gale.

EXPLORATION En analysant les formes (ou isotopes) de carbone sur une vingtaine de sites du cratère Gale, à proximité de l'équateur martien, le rover Curiosity a fait une découverte intrigante : six d'entre eux sont appauvris en carbone 13 et enrichis en carbone 12… ce qui, sur Terre, est une signature du vivant ! La prudence reste de mise, d'autres phénomènes liés aux conditions martiennes (réactions photochimiques, poussières galactiques…) pouvant aussi expliquer cette empreinte. **F. D.**

SOURCE : CHRISTOPHER HOUSE, UNIVERSITÉ D'ÉTAT DE PENNSYLVANIE, ÉTATS-UNIS

LE MEILLEUR DU GOÛT.

100% compensé en carbone*.

ELU PRODUIT DE L'ANNÉE 2022

FAIRTRADE MAX HAVELAAR

CAFÉ ROYAL
SWITZERLAND

*Les émissions CO2 sont compensées de la culture du café à la fin de sa vie. Plus d'infos sur www.cafe-royal.com/co2.

KLEINVISION

À VOIR SUR LE NET

La voiture volante devient une réalité

TRANSPORTS La « AirCar » de la société slovaque Klein Vision a obtenu son homologation par l'Autorité des transports à Bratislava. Durant sa première phase de test, l'engin a décollé et atterri plus de 200 fois pour réaliser 70 heures de vol jusqu'à 2500 mètres d'altitude. Au sol, une fois ses ailes repliées, elle se conduit comme une voiture classique. **S. R.**

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

IL A DIT

« Pour la première fois, nous avons assisté à l'explosion d'une étoile supergéante rouge »

Wynn Jacobson-Galán, de l'université de Californie à Berkeley (États-Unis), dont l'équipe a, pour la première fois, pu capturer en temps réel la mort d'une étoile — supernova — à 120 millions d'années-lumière de la Terre.

Vers des panneaux solaires autoréparables

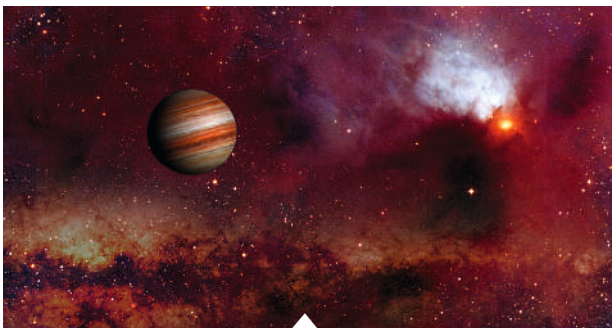
MATÉRIAU Une équipe israélienne a réussi à synthétiser un nanocristal semi-conducteur capable de s'autoréparer. Celui-ci est composé de double pérovskite, utilisée notamment dans les cellules des panneaux solaires. En changeant la taille, la forme et la composition de ce matériau à l'échelle nanométrique, les chercheurs ont pu modifier ses propriétés physiques. Une première, qui pourrait ouvrir la voie à la production de matériaux autoréparables. **C. B.**

SOURCE : SASHA KHALFIN, INSTITUT DE TECHNOLOGIE D'ISRAËL.

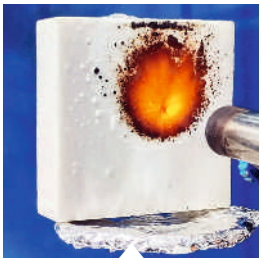
70 planètes errantes identifiées dans la Voie lactée

Ces étranges objets ont la particularité de n'être liés à aucune étoile.

La famille des planètes errantes s'agrandit grâce à une vaste étude publiée dans *Nature*. Ces étranges objets dont l'existence a été découverte à la fin des années 1990 ont la particularité de n'être liés à aucune étoile : ils orbitent seuls autour du centre de la galaxie. En scrutant une région massive de formation d'étoiles dans la Voie lactée, les scientifiques du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux (LAB) ont identifié, sur quelque 80 000 images, au moins 70 de ces planètes et peut-être une centaine d'autres encore à confirmer. Des astres âgés de 1 à 8 millions d'années avec des masses entre 4 et 13 fois celle de Jupiter. Mais les plus petites se cachent encore : *« Au final, même si l'estimation demande à être affinée, il pourrait y avoir plusieurs milliards de planètes flottantes dans la galaxie »*, estime Hervé Bouy, du LAB. Pour expliquer ce grand nombre surprenant, deux mécanismes sont nécessaires : la naissance par effondrement d'un petit nuage moléculaire ou l'éjection d'un système. Il est impossible de préciser quelle est la contribution de chacun de ces phénomènes. **J. I.**


UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

L'astre orbite seul autour du centre de notre galaxie (vue d'artiste).


PINGAN SONG AND ZHEWEN MA

L'isolant revêtu du retardateur de flammes ne prend pas feu.

Un nouveau revêtement anti-feu bon marché

CHIMIE Des chimistes ont mis au point un retardateur de flamme peu onéreux et très efficace. Composé d'oxydes métalliques et de nitrure de bore, il n'émet aucun gaz toxique et peut être pulvérisé sur du bois, de l'acier ou des mousses de polymère. Sous la flamme d'un chalumeau et des températures allant jusqu'à 1100 °C, le revêtement se transforme en un liquide visqueux qui ne brûle pas et protège ainsi les matériaux sous-jacents. **F. D.**

SOURCE : Z. MA, UNIVERSITÉ ZHEJIANG A & F, CHINE.

LES FILMS PELLÉAS ET BANDE À PART FILMS PRÉSENTENT

UN VOYAGE FASCINANT VERS NOTRE FUTUR

CINQ NOUVELLES DU CERVEAU

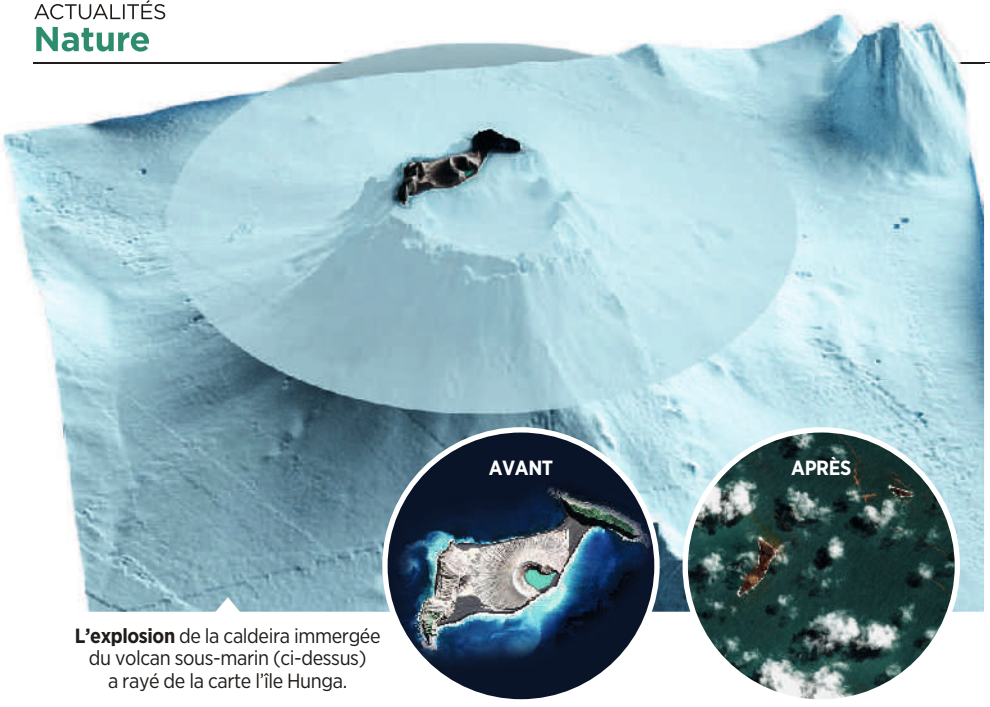
UN FILM RÉALISÉ PAR **JEAN-STÉPHANE BRON**

CINE+

AU CINÉMA LE 16 MARS

AD VITAM

marc pauficket pour la filloute



F. RUYS/VIZUALISM - AFP

L'explosion de la caldeira immergée du volcan sous-marin (ci-dessus) a rayé de la carte l'île Hunga.

Une éruption volcanique rare dans le Pacifique

La violence de l'événement a fait disparaître une petite île de l'archipel des Tonga, qui était la partie émergée du volcan.

Capté de l'espace par les satellites, le panache de fumée et de cendres libéré par l'explosion du volcan sous-marin Hunga Tonga (océan Pacifique) le 15 janvier dernier pouvait faire penser au champignon d'une bombe atomique. Sauf que le diamètre du nuage en question a atteint jusqu'à 500 km de diamètre à 40 km de haut et que l'éruption a libéré une quantité d'énergie plusieurs centaines de fois supérieure (5 à 30 millions de tonnes de TNT) à celle de la bombe d'Hiroshima (15 000 tonnes), selon la Nasa. *« C'est une éruption majeure, mais on est loin de l'éruption du millénaire,* tempère Jean-Christophe Komorowski, chef d'équipe Systèmes volcaniques à l'Institut de physique du globe de Paris. *Il est difficile d'avoir des données précises mais les estimations réalisées placent l'événement à 6 sur l'indice d'explosivité volcanique (VEI), l'échelle de référence pour classer les éruptions qui va de 0 à 8. Rien qu'au siècle dernier, trois éruptions comparables se sont produites : le Pinatubo en 1991 aux Philippines, le Novarupta en 1912 en Alaska et le Santa María en 1902 au Guatemala.* »

Un volcan sous-marin de 2000 mètres de haut

La violence de l'éruption a en revanche fait disparaître la majeure partie de l'île Hunga Tonga-Hunga Ha'apai, partie émergée de ce volcan qui, sous l'eau, s'élève sur 2000 mètres de haut. Car ce n'est pas le petit cratère visible sur l'île avant le 15 janvier qui a explosé, mais bien la caldeira centrale immergée de 5 km de diamètre. L'île disparue ne constituait qu'un rebord du sommet de cette caldeira. Si bien qu'aujourd'hui, impossible de savoir dans quel état est le Hunga, ni même son niveau d'activité réelle. *« A-t-on encore une caldeira ou tout le réservoir magmatique s'est-il effondré ?* s'interroge le volcanologue. *On ne le saura pas avant de réaliser de nouvelles cartographies avec un sondeur au-dessus du volcan. Sauf que cela représente un risque à l'heure actuelle : on ne peut pas exclure qu'une nouvelle éruption aussi voire plus puissante que celle du 15 janvier ne se produise dans les semaines ou mois à venir »*, prévient-il. ■ **H. J.**

Les hippopotames se reconnaissent à leur voix

ZOOLOGIE Les hippopotames sont capables de distinguer les voix de leurs congénères et d'adapter leur comportement en fonction. Ils sont plus agressifs avec un étranger qu'avec un voisin ou un membre de leur groupe. Pour s'en convaincre, des scientifiques ont utilisé des haut-parleurs à une centaine de mètres de lacs où vivent ces grands mammifères semi-aquatiques pour leur diffuser des enregistrements de différents congénères plus ou moins familiers. **C. B.**

SOURCE : JULIE THÉVENET, UNIVERSITÉ DE SAINT-ÉTIENNE, FRANCE

Découverte de larves sauteuses

ENTOMOLOGIE La larve du coléoptère *Laemophloeus biguttatus* dispose d'un moyen de locomotion qui n'avait encore jamais été documenté pour une larve d'insecte : le bond en avant. Elle se sert de petites griffes qu'elle accroche au sol afin d'accumuler de l'énergie. Les chercheurs ont découvert ce comportement par hasard et n'excluent pas qu'il soit en réalité répandu chez les larves d'autres espèces. **H. J.**

SOURCE : MATTHEW BERTONE, UNIV. DE CAROLINE DU NORD, ÉTATS-UNIS

M. BERTONE, NCSTATE UNIVERSITY

Le bond en avant de la larve n'avait jamais été documenté.

RIVAGES
DU MONDE

Prendre le large, c'est essentiel.

RCS Paris B 438 679 664 – 150 000 euros - Atout France IM 075 100 099 – Crédit Dreamstime

Croisières

EXPÉDITIONS

NORVÈGE • ARCTIQUE • ISLANDE • GROENLAND • SPITZBERG

A bord d'un véritable yacht d'expédition, conçu pour 180 passagers.
Un navire à propulsion hybride, pouvant stationner sans jeter l'ancre, pour une meilleure protection des sanctuaires marins. Des conférenciers spécialistes des régions polaires présents à bord.

SA01

Voguer. Échanger. Rêver

RÉSERVEZ VOTRE CROISIÈRE AU 01 83 96 85 03 OU SUR WWW.RIVAGESDUMONDE.FR

D. CAMERON/UCSF

Deux ans après la greffe, l'état de santé de Cronutt s'est amélioré.

Une otarie épileptique soignée aux neurones de cochon

ZOOLOGIE Devenue épileptique après une intoxication aux algues, l'otarie Cronutt, du parc de Vallejo (États-Unis), était condamnée à une mort certaine avant de recevoir en 2020 une greffe de 200 000 neurones de cochon dans le cerveau. L'opération est aujourd'hui un succès selon son neurochirurgien, qui estime qu'une telle stratégie pourrait un jour être testée chez l'humain. **S. R.-M.**

SOURCE : SCOTT BARABAN, UNIV. DE CALIFORNIE À SAN FRANCISCO, ÉTATS-UNIS.

ZAMG

3000 tonnes de nanoparticules afflueraient tous les ans dans les Alpes autrichiennes (ici dans les Hohe Tauern).

Il neige du plastique en montagne

POLLUTION Dans les Alpes ou les Pyrénées, l'air pur des montagnes est pollué par les micro et nanoparticules plastiques, selon deux études menées en Autriche et sur le pic du Midi en France, à environ 3000 m d'altitude. Dans les Alpes autrichiennes, les chercheurs estiment que 3000 tonnes se déposent chaque année, provenant à 70 % des océans, transportées par les embruns des vagues. **C. L.**

ALEXIS ROSENFELD

Au large de Tahiti, ce champ de coraux se déploie à plus de 35 mètres sous la mer.

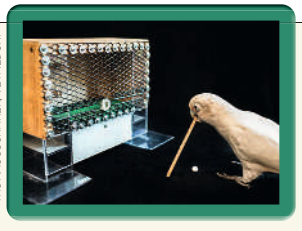
Un récif corallien incroyablement conservé

Il pourrait avoir échappé au blanchissement du fait de sa profondeur.

C'est dans la zone dite crépusculaire de l'océan Pacifique, là où la lumière peine à pénétrer, qu'a été exploré l'un des récifs coralliens profonds les plus importants connus à ce jour. Au large de Tahiti, ce récif semblable à un champ de roses géantes s'étend sur 3 kilomètres de long pour une largeur allant de 30 à 70 mètres. Il se trouve entre 35 à 70 mètres de profondeur. Deux espèces de corail composent principalement cet écosystème : les *Porites rus* et les *Pachyseris speciosa*. Ce qui a surpris les chercheurs, c'est l'état de conservation exceptionnel du récif, dans une région qui a subi un sévère épisode de blanchissement en 2019. Cela pourrait être dû à son éloignement dans les profondeurs océaniques. Cette observation a été faite lors de 200 heures de plongées destinées à cartographier les fonds marins de Polynésie. Elle suggère que les coraux pourraient survivre dans les eaux froides des profondeurs à l'heure où le réchauffement des océans menace ces écosystèmes, qui abritent 25 % de la vie marine de la planète. **S. R.**

768 km Le nouveau record de longueur d'un éclair

MÉTÉOROLOGIE L'Organisation météorologique mondiale a accordé le record de la plus grande longueur pour un éclair à la décharge qui a parcouru le ciel de trois États américains le 29 avril 2020 sur 768 km. Le précédent était de 709 km en 2018 au Brésil. Quant au record de durée, c'est un éclair en Uruguay en juin 2018 qui l'emporte : il a zébré le ciel pendant 17,102 secondes. **H. J.**



THOMAS SUCHANEK/VETMEDUNI

À VOIR SUR LE NET

Des cacatoès apprennent le golf

ÉTHOLOGIE L'être humain mis à part, c'est la première fois qu'un animal démontre qu'il est capable d'utiliser simultanément deux outils mobiles pour atteindre un objectif. En l'occurrence une noix de cajou, obtenue par ces cacatoès lorsqu'ils parviennent à pousser une petite bille dans un trou à l'aide d'une baguette, comme au minigolf. **P. K.**

SOURCE : A. J. OSUNA-MASCARO, UNIVERSITÉ DE VIENNE, AUTRICHE

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

À Sup'Biotech, l'innovation, ça s'apprend et ça se partage

Le jeudi 27 janvier dernier, Sup'Biotech organisait la seconde édition de son innovation Fair. Un événement au cours duquel les élèves de dernière année - les Biotech 5 – ont présenté leur solution innovante, élaborée en équipe, dans le cadre du programme S.B.I.P, devant un jury composé en grande partie de professionnels de l'univers des Biotechnologies.

Les Frimeuses (et son frimeur), le groupe issu de l'association Innov'Eat qui concourt à Ecotrophelia en juin prochain.

Pendant 4 ans, ils ont grandi avec lui. L'innovation Fair vient clôturer une épopée commencée en seconde année avec le programme Sup'Biotech Innovation Project (S.B.I.P). Créée en 2008, cette initiation à l'innovation a permis aux futurs ingénieurs en Biotechnologies de Sup'Biotech d'entrer de plain-pied dans le monde de l'innovation, avec ses exigences scientifiques et technologiques, ses études de marché, ses normes et ses règles, ses brevets et ses levées de fonds.

Les Sup'Biotech Innovation Project (SBIP) : *« Une idée, un concept, un projet »*

« Une idée, un concept, un projet ». Trois mots qui donnent le ton, et le tempo, de la dynamique au cœur des S.B.I.P. les Frimeuses, Adsum, Filtergy, DME, Scoby, Digi'skin, Cryotransplant, ALoes, Green Genesis… Voici quelques-uns des 27 projets couvés en 2022 au sein de l'école d'ingénieur spécialisée en Biotechnologies Sup'Biotech, en connexion permanente avec le monde de la Recherche et de l'Entreprise. Incubateur de talents, Sup'Biotech prépare ses élèves ingénieurs à s'engager - en France et à l'international – dans les secteurs qui fabriquent les solutions biotechnologiques de demain : la santé, la pharmacie, la cosmétologie, la bio-informatique ou encore l'innovation agroalimentaire et l'environnement. En se frottant aux passages obligés de l'innovation, ils développent leur sens de d'initiative, leur esprit critique et leur polyvalence : faire naitre l'innovateur que l'on porte en soi requiert de nombreuses compétences : intellectuelles, philosophiques, scientifiques, technologiques mais aussi commerciales.

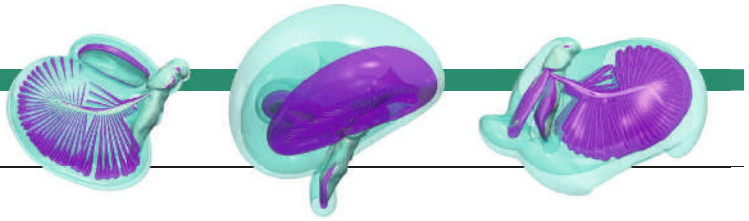
Être bio inspiré pour servir l'humain.

Qu'ils transforment ce qui existe déjà ou qu'ils conçoivent des solutions et des technologies nouvelles, les élèves engagés dans les S.B.I.P travaillent en résonance avec les besoins et les attentes d'une société en quête perpétuelle de *« mieux-vivre »*. Comme tous les inventeurs, ils sont visionnaires. Les quatre étudiantes qui ont conçu le projet « Détecte mon endo » (DME), n'ont pas attendu que la France reconnaisse l'endométriose comme affection longue durée pour mettre au point un kit de détection précoce non invasive de cette maladie invalidante, causée par un développement anormal de tissus endométriales en dehors de la cavité utérine. Une innovation qui leur a ouvert les portes du monde de la Recherche tout en les amenant à développer leur âme d'entrepreneuses : *« Pour mener nos tests sur du sang humain en laboratoire à partir de biomarqueurs, nous nous sommes rapprochées d'un chercheur du CNRS,* explique l'une des co-responsables de la partie R&D du projet. *Au fil de nos échanges, nous avons été amenées à faire évoluer DME, qui est devenue en octobre dernier la startup* "Détecte Mon Endo SAS" ». De leur côté, pour permettre aux patients amputés d'un membre de retrouver leur autonomie et une sensation de bien-être, les trois étudiants créateurs du projet Digi'skin ont développé une peau synthétique personnalisable, pour permettre aux patients d'accepter leurs prothèses plus facilement. Un procédé qui leur permettra aussi de retrouver le sens du toucher et la thermoception. Des innovations technologiques inspirées du vivant, au service de l'humain.

Après avoir passé quatre années à bâtir un projet innovant, quatre années faites de découvertes, d'apprentissages et de concrétisations, les Biotech 5 ont quitté leur campus au premier jour de février. Chacun d'entre eux prêt à participer à un monde d'innovations au croisement de la biologie et des technologies. ■

Des innovations remarquées

Le Challenge du numérique, Coup2Boost, Biominnovate… nombreux sont les concours d'innovation qui permettent aux élèves ingénieurs de Sup'Biotech de présenter leur projet innovant *« hors des murs »* de l'école. En juin prochain, les étudiantes à l'origine de la gamme les Frimeuses, des pâtes à tartiner apéritives à base de légumineuses fermentées, participeront aux épreuves finales de la 23e édition du concours national Ecotrophelia, les Trophées étudiants de l'innovation alimentaire. Quant au projet Filtergy, une solution pour produire de l'électricité à partir des boues d'épuration, il a déjà été remarqué en octobre dernier, en obtenant la troisième place du concours de projets bio-inspirés Biomim'Challenge 2021.



Modélisation du vol du coléoptère, du mouvement des ailes et de l'amplitude générée.

FARISENKOV ET AL. NATURE (2022)

Derrière le record de vitesse du « Paratuposa »

ENTOMOLOGIE En modélisant le vol du coléoptère asiatique *Paratuposa placentis*, l'un des plus petits insectes au monde (0,395 mm), des scientifiques livrent le secret de son incroyable rapidité. S'il est capable de voler à des vitesses seulement atteintes par des individus trois fois plus gros que lui, c'est qu'il bat des ailes d'une façon très inhabituelle qui augmente l'amplitude du mouvement. **H. R.**

SOURCE : SERGEY FARISENKOV, UNIVERSITÉ D'ÉTAT DE MOSCOU, RUSSIE.

+20 % L'augmentation de la population des girafes depuis 2015

BIODIVERSITÉ Alors que le nombre de girafes avait diminué de 40 % entre 1985 et 2015 en Afrique, les populations ont recommencé à croître. Une vaste recension montre que depuis 2015, le nombre de girafes a progressé de 20 % pour atteindre un total de 117 173 individus répartis sur 21 pays. **H. J.**

SOURCE : MICHAEL BROWN, CONSERVATION ECOLOGY CENTER, ÉTATS-UNIS.

DARA ORBACH/MOUNT HOLYOKE COLLEGE

Doté de nerfs sensoriels, le clitoris des dauphins femelles (à droite) serait sensible au contact physique.

Les dauphins femelles savent se servir de leur clitoris

ZOOLOGIE Le plaisir procuré par le clitoris féminin semble être partagé par les femelles des dauphins *(Tursiops truncatus)*. L'examen de leur tissu clitoridien montre des similitudes avec celui des humaines, doté d'abondants nerfs sensoriels. L'organe génital de ces mammifères marins serait ainsi sensible au contact physique, ce qui expliquerait leurs nombreux jeux sexuels. **S. R.**

SOURCE : P. BRENNAN, MOUNT HOLYOKE COLLEGE, ÉTATS-UNIS.

Le virus de la dengue force le moustique à piquer

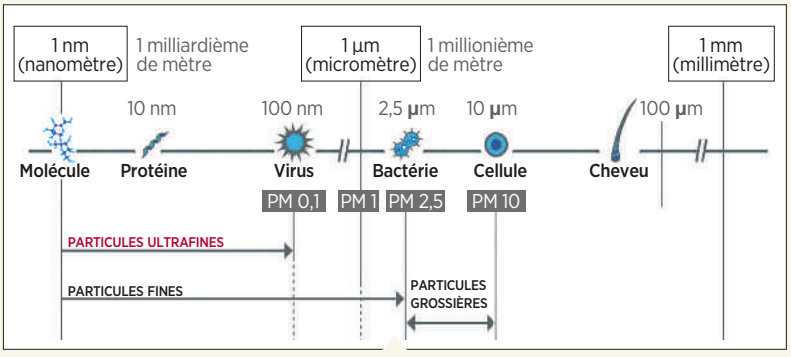
Il modifie le comportement de son insecte vecteur pour contaminer le plus d'humains possible.

Le virus de la dengue est un manipulateur ! Pour arriver à contaminer le plus d'humains possible, le pathogène modifie le comportement de son moustique vecteur, *Aedes aegypti*. Grâce à des images à haute résolution, une équipe franco-singapourienne a pu détecter que les insectes infectés piquent plusieurs fois plusieurs personnes. Ils sont aussi plus rapides pour attaquer que les moustiques sains… et plus maladroits. « *Ils doivent infliger de multiples piqûres pour parvenir à prélever du sang* », résume Julien Pompon, entomologiste moléculaire à l'Institut de recherche pour le développement. Ces échecs répétés sont au bénéfice du virus : ils multiplient les contacts avec la peau et donc les chances de contamination. **L. C.**

SPL/PHANIE

« Aedes aegypti » transmet la dengue.

Les particules ultrafines mesurées pour la première fois



AIRPARIF

Échelle des différentes tailles de particules en suspension (PM) à l'origine de la pollution atmosphérique.

POLLUTION Une campagne inédite de mesure de la pollution atmosphérique a ciblé les particules ultrafines, dont la taille est inférieure à 0,1 micromètre (PM 0,1). Selon les résultats de cette analyse menée par l'observatoire de la qualité de l'air en Île-de-France Airparif durant l'hiver 2020-2021, celles-ci sont trois fois plus nombreuses dans les centres urbains qu'en zone rurale. Elles s'ajoutent à la pollution aux PM 2,5 et PM 10 servant d'indicateurs lors des pics d'exposition. **L. C.**

PIERRE CLARENCE
Création Paris

2 Pulls mérinos col montant

34,50 € au lieu de ~~119 €~~

50% laine mérinos, 50% acrylique. Finitions emmanchures et col diminuées. Bord-côtes double au col, simple à la base et aux poignets. Fabriqué en Italie. Noir + gris.
Tailles : M - L - XL - 2XL - 3XL

RCS Paris B 410 714 885

Vos **FRAIS DE PORT OFFERTS** avec le code **T1563**

0 892 069 501 Service 0,40 € / min + prix appel
7 jours sur 7 de 8h à 20h

pierreclarence.com/2pulls122
Indiquez votre code **T1563** dans le panier

À retourner sous enveloppe affranchie à : **Pierre Clarence - 6 rue Anatole de la Forge - 75858 PARIS CEDEX 17** **T1563/P3638**

☐ **OUI, je profite de votre Offre Découverte** et reçois mon lot de 2 pulls (1 lot par foyer) pour 34,50 € au lieu de ~~119 €~~. **Les frais de port de ~~6,90 €~~ me sont offerts.**

Je choisis ma taille : ☐ **M** (6013036) ☐ **L** (6013037) ☐ **XL** (6013038) ☐ **2XL** (6013039) ☐ **3XL** (6013040)

Ci-joint mon règlement total de 34,50 € seulement par :

☐ Chèque à l'ordre de **PIERRE CLARENCE**

☐ Carte bancaire (Carte Bleue, Visa, Eurocard-Mastercard)

N° : _____

Date de validité : ____ ____ Cryptogramme au dos de ma carte : _____ (indispensable)

Cette offre ne m'engage à rien d'autre. Valable 1 mois pour la France métropolitaine et Monaco, dans la limite des stocks disponibles. Expédition sous 6 jours.

Mme/M. : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

_____

Code postal : _____ Ville : _____

_____

Pour mieux vous servir

Téléphone : _____ Date de naissance : J J M M A A

E-mail : _____

Date : J J M M A A

PIERRE CLARENCE
Création Paris

Signature obligatoire ▼

Conformément à la loi «informatique et libertés» et au Règlement européen du 27 avril 2016, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres entreprises. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire à Pierre Clarence – Service clientèle – 94971 Créteil Cedex 9, en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et numéro de client. Vos données peuvent être communiquées à un tiers concerné dans le cadre d'un changement de contrôle, de fusion, de cession de fonds de commerce ou d'apport partiel d'actifs de Reder SAS. Les 2 pulls sont de même taille et ne peuvent être vendus séparément. Prix unitaire de chaque pull : 59,50 €.

Un nouvel implant fait remarcher des paraplégiques

Des électrodes ont été connectées à leur moelle épinière lésée.

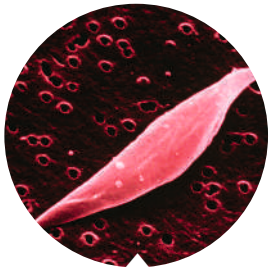
Trois nouveaux patients complètement paralysés de la partie inférieure du tronc et des jambes depuis des années ont retrouvé l'usage de leurs membres grâce des électrodes implantées sur la moelle épinière lésée. Il leur a suffi de moins d'un mois après l'intervention chirurgicale pour se tenir debout, marcher, faire du vélo, nager et contrôler les mouvements du tronc… Avec l'annonce de ce nouvel exploit dans *Nature Medicine*, les équipes suisses de la neurochirurgienne Jocelyne Bloch, au Centre hospitalier universitaire vaudois, et de Grégoire Courtine, à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), transforment l'essai publié trois ans plus tôt, en octobre 2018 *(lire* S. et A. *n° 862)*, qui avait déjà conduit trois paralytiques à remarcher au prix d'une rééducation intense.

JIMMY RAVIER/NEURORESTORE

Les mouvements ont été rendus possibles grâce à un implant stimulant la région de la moelle épinière qui contrôle les muscles du tronc et des jambes.

Des mouvements pilotés par une tablette sans fil

Cette fois, la récupération de la motricité s'est faite dès la première activation des électrodes. Une prouesse rendue possible grâce à un nouvel implant plus long (environ 7 cm) et plus large (1,5 cm), permettant de couvrir davantage de surface sur la moelle épinière pour réguler l'activité de groupes musculaires précis. Autre innovation : des algorithmes d'activation des électrodes personnalisés en fonction de mouvements spécifiques (lever, baisser la jambe, gauche ou droite, supporter le poids, etc.). Une tablette sans fil permet de choisir le programme à envoyer au pacemaker placé dans l'abdomen et relié aux électrodes. *« Bien sûr, nous n'en sommes pas encore au stade où ils seraient autonomes pour se lever le matin par exemple après avoir attrapé leur tablette sur la table de chevet, mais c'est une perspective bien réelle désormais »*, prévient Grégoire Courtine, qui imagine déjà ses patients équipés de montres intelligentes pour commander l'implant. *« Nous allons pouvoir transformer ces travaux de recherche en de véritables traitements dont pourront bénéficier des milliers de personnes dans le monde »*, promet-il. ■ **H. J.**



SPL/PHANIE

La drépanocytose provoque une déformation des globules rouges.

Deux maladies du sang guéries par thérapie génique

GÉNÉTIQUE Des chercheurs français annoncent que l'introduction d'un gène de l'hémoglobine dans les cellules souches du sang a corrigé durablement deux graves maladies génétiques parmi les plus répandues en France : la drépanocytose et la bêta-thalassémie, caractérisées par des globules rouges devenus incapables de transporter l'oxygène. Les premiers patients traités il y a plus de quatre ans n'ont plus besoin de transfusions sanguines pour survivre et mènent une vie normale. **P. K.**

SOURCE : ELISA MAGRIN, HÔPITAL NECKER ENFANT-MALADES, FRANCE.

Le tabagisme est néfaste à l'audition

ORL Fumer régulièrement est associé à une baisse de l'audition sur le long terme, indique une étude américaine réalisée sur plus de 3000 personnes âgées de plus de 75 ans et suivies pendant trente ans. Cette baisse concernait particulièrement les sons de hautes fréquences et la distinction des paroles dans un bruit ambiant. Les personnes qui avaient cessé de fumer durant cette période ont en revanche retrouvé une audition normale pour leur âge. **P. K.**

SOURCE : E. G. MORALES, UNIVERSITÉ JOHNS-HOPKINS, ÉTATS-UNIS.

Transmettre l'espoir de vaincre le cancer

Léguez à l'Institut Curie, 1er Centre français de recherche en cancérologie

Transmettre tout ou une partie de ses biens à l'Institut Curie, premier centre français de recherche en cancérologie, est un formidable message d'espoir pour tous ceux qui luttent contre le cancer.

En soutenant les efforts de l'Institut Curie, fondé par Marie Curie, vous effectuez un geste de générosité envers les générations futures, vous donnez aux chercheurs et médecins les moyens de prendre le cancer de vitesse et associez votre nom à ce combat pour la vie.

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE

institut Curie

ENSEMBLE, PRENONS
LE CANCER DE VITESSE

curie.fr

Pour tout renseignement contacter Catherine Ricatte - Institut Curie :
26, rue d'Ulm - 75248 Paris Cedex 05 - 01 56 24 55 34 - catherine.ricatte@curie.fr

institut Curie

BULLETIN DE DEMANDE D'INFORMATION à compléter à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

☐ Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.

☐ Je souhaite être contacté en toute confidentialité par votre responsable legs, donations et assurances-vie.
Vous pouvez me joindre au numéro ci-contre ▶

☐ Mme ☐ M. Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_|

Ville : .....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

SA0222

Les différentes formes de sillons sont liées à la longueur des doigts.

GETTY IMAGES

Les empreintes digitales ne dépendent pas de la peau

Leur formation doit beaucoup à un gène impliqué dans le développement des bras et des jambes.

Nos empreintes digitales ne sont pas définie par les gènes liés à la peau comme on le pensait, mais par ceux impliqués dans le développement de nos membres. Des travaux publiés dans la revue *Cell* montrent que les sillons et les crêtes de nos empreintes apparaissent au troisième mois de grossesse dans l'embryon. Après avoir passé au crible 23 000 génomes, une équipe de chercheurs chinois a identifié le rôle d'EVI1, un gène très influent déjà connu pour son rôle dans le développement des bras et des jambes de l'embryon. L'analyse des données a également montré que les différents types d'empreintes digitales (en arche, en tourbillon ou en boucle) sont corrélés à la longueur des doigts. Les chercheurs supposent que ces motifs sont déterminés par la force de croissance exercée par le membre sur le tissu embryonnaire. Mais la façon précise dont ce motif se développe reste encore à élucider. **C. L.**

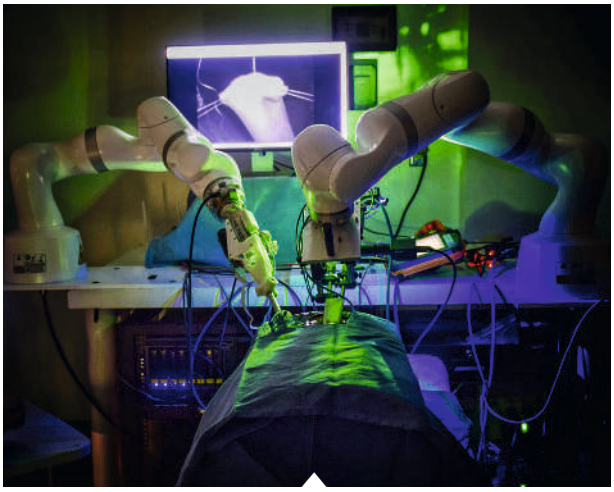
EN DEUX MOTS

ÉPIGÉNÉTIQUE Le traumatisme subi par les Tutsis lors du génocide perpétré par les Hutus au Rwanda, en 1994, a entraîné des modifications chimiques de l'ADN des femmes alors enceintes et de leurs enfants à naître. **PSYCHIATRIE** En vieillissant, les personnes qui souffrent de solitude auraient deux fois plus de risque de développer une démence, selon une étude conduite aux États-Unis sur une décennie. **CANCER** La Haute Autorité de santé a annoncé le lancement d'un programme pilote pour évaluer la faisabilité d'un dépistage systématique du cancer du poumon.

Première chirurgie sans intervention humaine

ROBOTIQUE **Pour la première fois, un robot chirurgical autonome est parvenu à réaliser une opération sans la moindre intervention humaine. Il a reconnecté deux bouts d'intestin chez des cochons et ce, avec de meilleurs résultats que des chirurgiens. Le robot utilise un endoscope pour capturer des images en 3D analysées par intelligence artificielle, lui permettant ainsi de planifier ses mouvements et de s'adapter aux imprévus lors de l'intervention.** **N. G. C.**

SOURCE : H. SAEIDI, UNIVERSITÉ JOHNS-HOPKINS, ÉTATS-UNIS



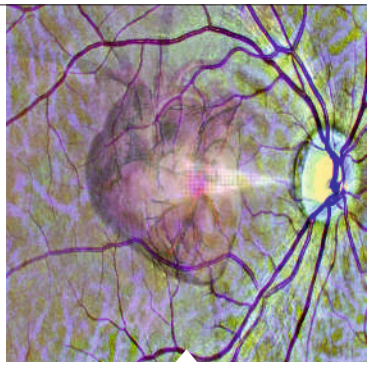
JOHNS HOPKINS UNIVERSITY

Le robot a pratiqué avec succès une opération gastro-intestinale sur un cochon.

Enfin un test diagnostique pour l'endométriose

GYNÉCOLOGIE Un test salivaire mis au point par une équipe française avec des spécialistes en intelligence artificielle de la start-up Ziwig Health devrait permettre de diagnostiquer l'endométriose en quelques jours. L'objectif est de mettre fin à l'errance médicale de huit ans en moyenne des femmes atteintes par cette inflammation chronique de l'endomètre, tissu tapissant l'intérieur de l'utérus. Fiable à 95 %, le test peut être réalisé à domicile, le prélèvement étant envoyé par courrier. **S. R.-M.**

Les problèmes du cœur se lisent dans l'œil



UNIVERSITY OF LEEDS

Un scanner de la rétine (vue d'artiste) pourrait aider au diagnostic cardiaque.

CARDIOLOGIE Des changements dans les petits vaisseaux de la rétine sont des indicateurs de problèmes cardiaques et vasculaires. Une intelligence artificielle conçue par des chercheurs a été entraînée à lire les scanners rétiniens et à identifier les personnes risquant de faire une crise cardiaque. La pertinence de l'IA se situerait au-delà de 70 %, ce qui en ferait un outil d'aide au diagnostic intéressant. **H. R.**

SOURCE : ANDRES DIAZ-PINTO, UNIVERSITÉ DE LEEDS, ROYAUME-UNI

1,27 million

Le nombre de décès causés par des bactéries résistantes aux antibiotiques

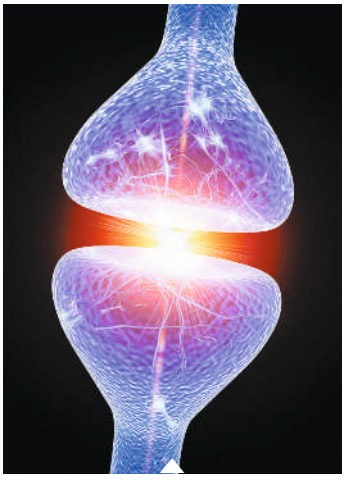
MICROBIOLOGIE En 2019, l'antibiorésistance a fait presque autant de morts dans le monde que le sida (690 000) et le paludisme (627 000) réunis, selon une vaste analyse des données de mortalité de 204 pays. Le nombre pourrait monter à 4,95 millions en comptant les décès associés à des bactéries résistantes aux antibiotiques mais attribués à une autre cause. **N. G. C.**

SOURCE : CHRISTOPHER MURRAY, UNIVERSITÉ DE WASHINGTON, ÉTATS-UNIS

Un récepteur serait impliqué dans nos croyances aberrantes

NEUROLOGIE Une équipe de neuroscientifiques et de psychiatres français a mis en évidence le rôle d'un récepteur — participant à l'échange d'informations entre neurones — dans notre propension à croire à l'improbable. Leurs expériences montrent que chez un individu placé dans un environnement imprévisible et incertain, le blocage de ce récepteur synaptique induit des décisions aberrantes ainsi que des symptômes similaires à ceux rapportés dans les stades précoces de psychose. **H. J.**

SOURCE : A. SALVADOR, INSERM, FRANCE



BSIP

La synapse (vue d'artiste) est la zone de contact entre deux neurones (en bleu).

www.lesproduitsdumois.com

BIEN DORMIR AVEC D-STRESS® SOMMEIL

coup de cœur

D-Stress® Sommeil est l'association inédite de la formule D-Stress®, riche en **magnésium**, et d'**Eschscholtzia californica**, plante de référence reconnue pour ses propriétés **sédatives** et **apaisantes** qui vous aideront à retrouver naturellement, et durablement un **sommeil profond et réparateur**.
L'apport en magnésium permet une action de fond, car le déficit en magnésium est l'une des principales causes des troubles du sommeil.
L' Eschscholzia californica permet une **action immédiate**, il contribue à une relaxation optimale, à une **amélioration de l'endormissement et à une réduction des réveils nocturnes**. **Sans effets secondaires, ni accoutumance.**

● Laboratoire Synergia.
En pharmacie, env. 14 € boîte de 40 comprimés.
Commandez en ligne sur www.synergiashop.com ou par tél. au 04 77 42 30 10.

PERTE DE CONCENTRATION ET DE MÉMOIRE ?

Vous arrive-t-il de perdre de vue l'essentiel lorsque vous êtes pressé(e) ? D'avoir des difficultés pour vous concentrer ? Les comprimés naturels **Cerveau Clair** apportent en quelques heures des vitamines et nutriments aux zones de la concentration et de la mémoire du cerveau grâce à des actifs (L-théanine, Grenade, Pin maritime, Noix, Vitamines B, Iode) dont l'efficacité pour **améliorer les performances mentales et les fonctions cognitives** a été scientifiquement prouvée.

Ils protègent également le cerveau du vieillissement et réduisent la fatigue. **Cerveau Clair tonifie et revitalise le cerveau pour aider à garder les idées claires !**

● En pharmacie - Boite de 60 comprimés ACL 2951863. Convient aux végétaliens.
New Nordic au 01 85 12 12 12 (tarif local) - www.vitalco.com

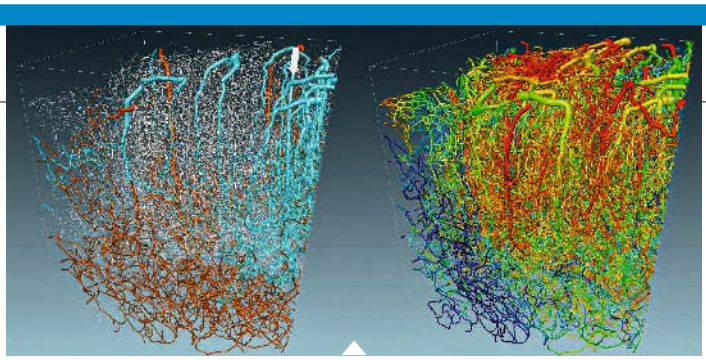
POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE

Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

Le cartilage se répare sous l'effet de l'électricité

ORTHOPÉDIE C'est une piste inédite pour traiter l'arthrose. Des bio-ingénieurs ont réussi à faire repousser le cartilage de genoux de lapin grâce à des nanofibres piézoélectriques. Celles-ci produisent des mini-décharges sous l'effet de la mobilisation de l'articulation. Ce champ électrique faible mais constant « encourage » les cellules à coloniser la zone pour produire un cartilage fonctionnel. **H. J.**

SOURCE : YANG LIU, UNIV. DU CONNECTICUT, ÉTATS-UNIS



F. GOIRAND, T. LEBORGNE ET S. LORTHOIS

Les capillaires en bout de chaîne (marron à g., bleus à dr.) manquent d'oxygène.

Des embouteillages dans la circulation sanguine altèrent les neurones

NEUROVASCULAIRE En modélisant les microvaisseaux sanguins qui nourrissent les neurones en oxygène et nutriments, une équipe française montre pourquoi dans certaines maladies neurodégénératives comme Alzheimer, les fonctions cognitives déclinent plus vite que les neurones ne se dégradent. En réalité, des microperturbations dans ces capillaires ralentissent le flux sanguin et conduisent à une hypoxie des neurones situés en bout de chaîne de la circulation sanguine. **N. M.**

SOURCE : FLORIAN GOIRAND, UNIVERSITÉ DE RENNES, FRANCE

IL A DIT

« Notre cerveau fonctionne comme une machine à remonter le temps »

Mauro Manassi, chercheur à l'université de Berkeley (États-Unis), en commentaire de son étude qui démontre un décalage temporel de 15 secondes entre ce qui se trouve devant nous et ce que notre cerveau nous fait effectivement voir après des mises à jour régulières.

HARVARD T.H. CHAN

QUESTIONS À

Alberto Ascherio,

épidémiologiste à l'université Harvard (États-Unis)

Le virus d'Epstein-Barr déclenche la sclérose en plaques

Le lien entre une infection par le virus Epstein-Barr et le déclenchement d'une sclérose en plaques, suspecté depuis près de 40 ans, a été confirmé par l'équipe d'Alberto Ascherio dans une étude publiée par la revue *Science*.

Comment avez-vous démontré ce lien de causalité ?

Nous avons suivi 10 millions de jeunes adultes pendant près de 10 ans, dont un grand nombre n'avait pas le virus au début de l'étude. Ceux qui n'ont pas été infectés durant cette période n'ont pas développé de sclérose en plaques (SEP), alors que presque tous ceux ayant reçu un diagnostic de SEP avaient attrapé le virus. L'infection par Epstein-Barr multipliait ainsi par 30 le risque de SEP. Il faut toutefois rappeler que 95 % de la population mondiale est porteuse de ce virus et que l'infection ne suffit donc pas à expliquer l'apparition de la SEP. Mais elle a un rôle déclencheur.

Quel est le mécanisme expliquant ce lien ?

Il est probable que la réponse immunitaire contre Epstein-Barr se trompe de cible et attaque les cellules du cerveau. Ce n'est donc pas directement le virus qui cause la maladie, mais le système immunitaire qui, en tentant de lutter contre l'infection, en vient à s'attaquer au cerveau.

Que change votre découverte sur le front de cette maladie ?

Nous savons maintenant qu'un vaccin empêchant l'infection permettrait d'éviter la grande majorité des SEP. Nous pouvons aussi concevoir un antiviral pour traiter les personnes déjà touchées, car il est probable qu'en éliminant le virus, nous pourrions améliorer le traitement de la sclérose en plaques et peut-être même guérir cette maladie.

Propos recueillis par N. G. C.

La vitamine D protégerait des maladies auto-immunes

PHANIE

Elle réduirait de 22 % le risque d'être atteint.

IMMUNOLOGIE La prise quotidienne de vitamine D (2000 UI) pendant cinq ans diminue de 22 % le risque de déclarer une maladie auto-immune les 5 années suivantes chez les plus de 50 ans, conclut une étude américaine. La vitamine D a une action anti-inflammatoire et favorise l'entrée en jeu des lymphocytes T régulateurs, des cellules capables de limiter le retournement du système immunitaire contre l'organisme. **P. K.**

SOURCE : JILL HAHN, ÉCOLE MÉDICALE HARVARD, ÉTATS-UNIS

Pour être heureux, mangez mieux

Les études sont formelles : ce que nous mangeons influence directement notre humeur. Non seulement un bon repas est source de plaisir, mais une alimentation saine et équilibrée favorise aussi une humeur positive.

Des nutriments qui font du bien

Les centaines de milliards de neurones qui constituent le cerveau s'échangent en permanence des molécules appelées neurotransmetteurs, tels que la sérotonine, la dopamine et le GABA notamment qui influencent l'humeur. Sans eux, le moral est plus facilement en berne ! Le cerveau consomme chaque jour 20% des réserves de glucose, mais il a également besoin de nutriments spécifiques pour faire fonctionner son réseau de neurones et fabriquer les neurotransmetteurs.

Faire le plein d'Omega 3

Ces acides gras sont des constituants essentiels de la membrane qui enveloppe les cellules, et notamment les neurones. Des études ont montré le lien direct entre une carence en Omega 3 et la survenue d'une sensation de mal-être.

B comme Bien-être

Les Vitamines B, et en particulier les Vitamines B3, B6 et B9, sont essentielles au maintien de fonctions psychologiques normales. La Vitamine B5 participe en outre à la synthèse des neurotransmetteurs.

Magnésium : gare à la carence

Une carence en Magnésium peut favoriser les troubles de l'humeur. En situation d'anxiété, il est expulsé en grandes quantités des cellules. En situation d'angoisse intense et/ou chronique, le corps épuise donc rapidement ses réserves. Il s'ensuit non seulement de la fatigue, mais aussi une plus grande sensibilité à l'anxiété.

Des plantes dans votre assiette

Les pistils de la fleur de Safran contribuent à préserver l'équilibre émotionnel en favorisant une humeur positive et une sensation de relaxation, propices au bien-être.

La racine de Rhodiola est adaptogène : elle aide l'organisme à résister normalement aux situations d'anxiété. Son efficacité sur le burn-out a d'ailleurs été démontrée de très nombreuses fois dans des études cliniques.

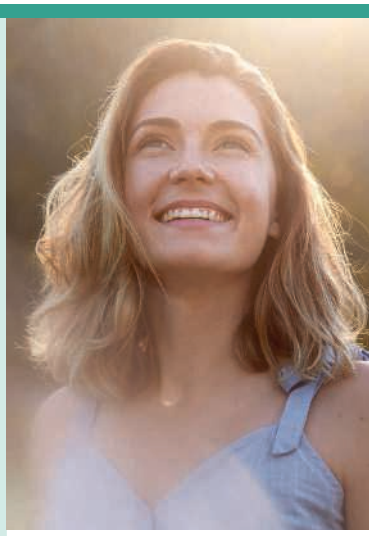
Un geste simple pour retrouver le sourire

Zenytud est un concentré d'actifs naturels d'exception (Rhodiola, Safran et Lactium®) associés pour la première fois en une même formule pour agir sur les neurotransmetteurs les plus importants dans les troubles anxieux (GABA, sérotonine, dopamine).

Leur action synergique fait de Zenytud une formule à la fois puissante et naturelle, idéale en situation de mal-être psychologique.

Zenytud contient également du bisglycinate de Magnésium, la forme la mieux assimilée par l'organisme, ainsi que de des Vitamines B qui contribuent à des fonctions psychologiques normales et à réduire la fatigue.

Zenytud peut être pris en continu tout au long de l'année et ne provoque ni effet indésirable ni accoutumance. La formule de **Zenytud** étant fortement concentrée, il est recommandé de demander l'avis d'un médecin avant son utilisation.



Des conseils ?

Les experts du Laboratoire PhytoResearch sont à votre écoute au 01 89 16 12 46 et sur www.zenytud.com

Zenytud est disponible en pharmacie grâce au code ACL.

Zenytud 60 gélules végétales code ACL **602 42 55**.

PASCAL GOETGHELUCL/SCIENCE PHOTO LIBRARY - LUDOVIC SLIMAK/AFP - L. SLIMAK ET AL.

Les outils découverts dans la grotte Mandrin (Drôme) n'ont pas tous la même finesse selon les couches. Certains auraient été fabriqués par « sapiens » et d'autres par Neandertal.

« Sapiens » et Neandertal auraient bien cohabité

« Homo sapiens » serait apparu en Europe continentale dix millénaires avant la date supposée et aurait pu côtoyer Neandertal en vallée du Rhône.

Homo sapiens arpentait l'Europe continentale 10 000 ans plus tôt qu'on ne le croyait (-42 000 à -45 000 ans). Il a coexisté avec son cousin Neandertal et a fréquenté, à quelques mois d'écart, les mêmes abris, tout au moins dans la vallée du Rhône. Ce sont les deux principales leçons d'une étude majeure publiée dans *Science Advances* qui rebat les cartes du peuplement de l'Europe par nos ancêtres. L'aboutissement de près de 25 ans de fouilles dans la grotte Mandrin, dans la commune de Malataverne (Drôme). C'est là, en 2004, que Ludovic Slimak, chercheur au CNRS et à l'université Toulouse-Jean-Jaurès, découvre une anomalie : une couche stratigraphique contenant d'étranges artefacts en pierre, tout petits, remarquablement modernes et produits en série, introuvables dans les artisanats néandertaliens. Problème : cette couche est prise en sandwich entre d'autres couches où les outils grossiers sont clairement néandertaliens. Il donne alors une dénomination à cette culture qui « sort du lot » : le Néronien.

Une dent de lait fait basculer les certitudes

Ce n'est que quinze ans plus tard, en travaillant sur des artefacts trouvés en Méditerranée orientale sur des sites que l'on sait déjà occupés par des humains modernes dès -54 000 ans, qu'il comprend que le Néronien n'est autre qu'un *sapiens*, présent dans le sud de la France dix millénaires avant son arrivée supposée. C'est l'analyse poussée d'une dent de lait retrouvée sur place qui va consolider cette découverte improbable : elle provient indéniablement d'un *Homo sapiens*.

Il s'agit de la toute première occurrence au monde d'une occupation néandertalienne postérieure à une occupation par l'humain moderne. *« Partout ailleurs, quand* sapiens *arrive, les autres populations (néandertiens, denisoviens…) tirent leur révérence définitivement. Ici, ce n'est pas le cas »*, assure Ludovic Slimak. Pas moins de cinq niveaux stratigraphiques néandertaliens recouvrent en effet la couche où résident les preuves de la présence de *sapiens* sur quatre décennies au moins. **M. B.**

Lire aussi p. 84

44,6 km/h

Le record de vitesse pour un théropode

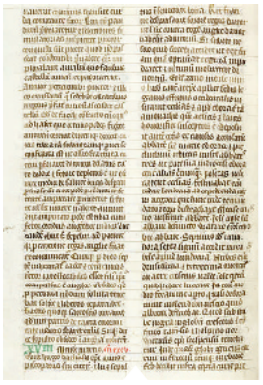
PALÉONTOLOGIE Sur la base des angles et des distances entre de rares empreintes découvertes dans le nord de l'Espagne, des chercheurs ont calculé la vitesse de pointe d'un théropode, dinosaure bipède dont le plus célèbre représentant est le *T. rex*. Le spécimen était de taille moyenne et sa vitesse de course est estimée entre 31,7 et 44,6 km/h ! **J. I.**

SOURCE : PABLO NAVARRO-LORBÈS, UNIVERSITÉ DE LA RIOJA, ESPAGNE.

Une boule de foudre observée il y a 900 ans

ÉPISTÉMOLOGIE *« Un signe merveilleux est descendu près de Londres »* : c'est ce qu'écrit le 7 juin 1195 le moine Gervais de Canterbury (Angleterre). C'est la plus ancienne description connue d'une boule de foudre, présentée comme un globe ardent en rotation tombé vers la Tamise. Aujourd'hui encore, le mystère reste entier sur ce type de phénomènes rarissimes. **J. I.**

SOURCE : GILES GASPER, UNIVERSITÉ DE DURHAM, ROYAUME-UNI.



THE MASTER AND FELLOWS OF TRINITY COLLEGE, CAMBRIDGE (TRINITY COLLEGE, MS R.4.11)

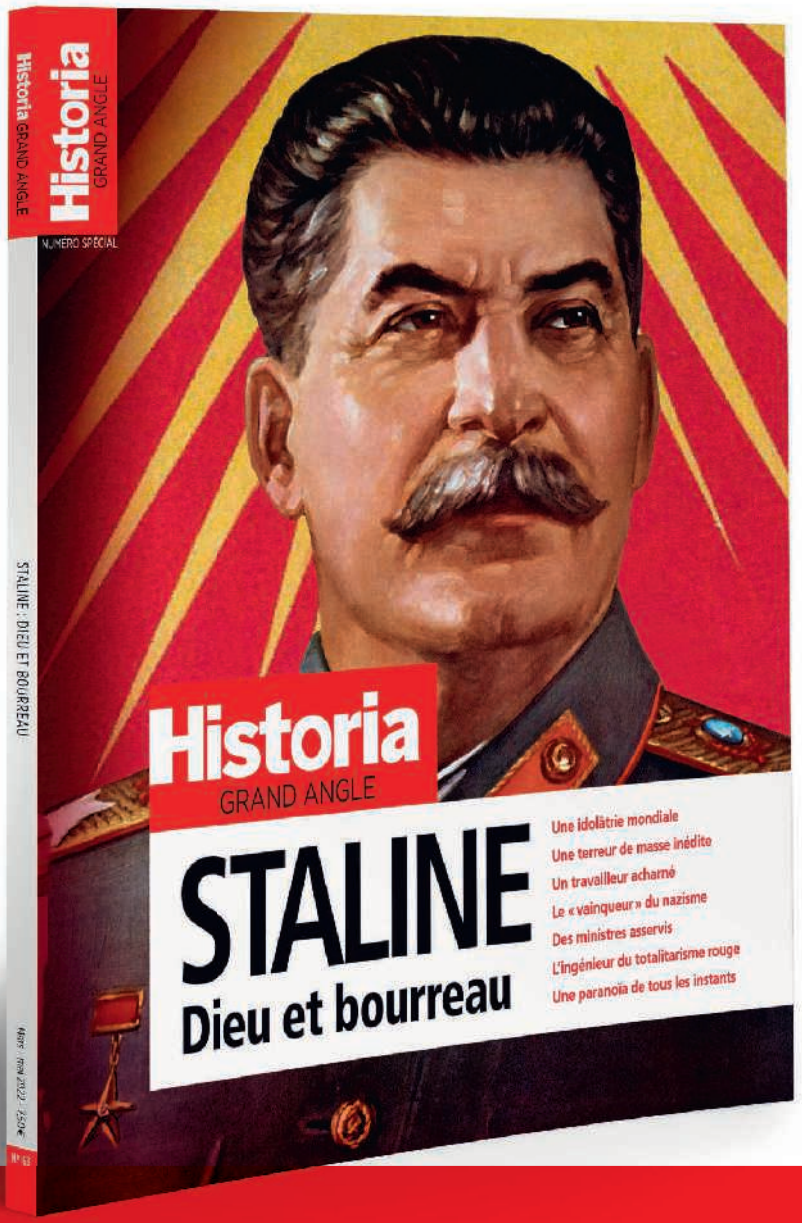
Le phénomène décrit dans la chronique du moine Gervais.

Historia GRAND ANGLE

NOUVEAU

Magazine-livre

TRIMESTRIEL



HISTORIA GRAND ANGLE, c'est un rendez-vous de référence avec les meilleurs historiens, un point de vue qui cerne l'essentiel, une grille chronologique, un lexique pour ne jamais perdre pied et un traitement visuel privilégié : nombreuses infographies et illustrations.
Ce sont aussi des rubriques inédites : un fait divers, une BD, des textes bruts, un récit gastronomie, un fact-checking...
Des histoires au service de l'Histoire.

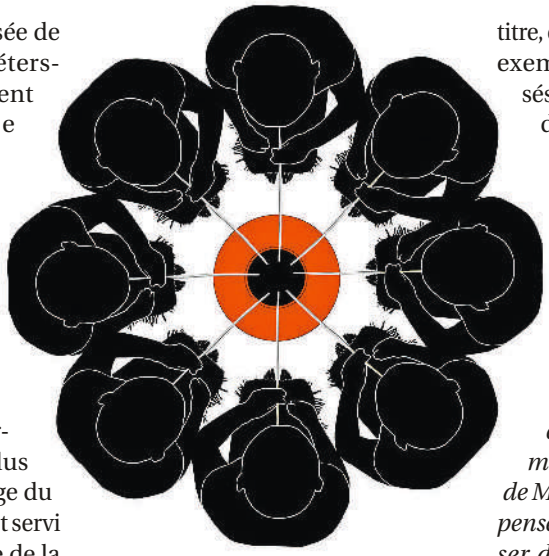
CHEZ VOTRE MARCHAND DE JOURNAUX ET CHEZ VOTRE LIBRAIRE À PARTIR DU 3 MARS

Fut-il le chef militaire de génie qui fit chuter Hitler ? Fut-il l'inventeur d'un système totalitaire inédit où la purge permet de renouveler les élites ? Reste-t-il la référence nationaliste russe inégalable pour le Kremlin en 2022 ? HISTORIA GRAND ANGLE a mis à plat cet enchevêtrement de cauchemars et de rêves dont Staline fut porteur.

Les premières pailles étaient en or

Elles auraient servi dans le Caucase il y a environ 5500 ans à boire dans une jarre commune lors de banquets.

Dans les vitrines du musée de l'Ermitage, à Saint-Pétersbourg (Russie), reposent depuis plus d'un siècle d'étranges tiges creuses d'or et d'argent. Longtemps pris pour des sceptres, ces huit tubes de plus d'un mètre de long pour un centimètre de diamètre seraient en réalité des pailles, selon une nouvelle analyse de ces objets publiée dans la revue *Antiquity*. Découvertes dans le kourgane de Maïkop, l'une des plus célèbres tombes d'élite de l'âge du bronze caucasien, elles auraient servi il y a environ 5500 ans à boire de la bière ou d'autres liquides dans une jarre commune lors de banquets. À ce titre, elles deviennent les plus anciens exemples de paille jamais recensés. C'est en détectant des résidus d'amidon d'orge, des particules de céréales et un grain de pollen de tilleul, logés dans une sorte de filtre interne, que les archéologues russes ont révisé leur jugement. *« Nous savons qu'aux Ve et IVe millénaires avant J.-C., la population néolithique du Caucase du Nord cultivait le blé et l'orge en abondance. C'était probablement aussi le cas pour la culture de Maïkop ultérieure, nous laissant penser que les ménages ont pu brasser de la bière d'orge aromatisée aux herbes et aux fleurs de tilleul »*, décryptent-ils. **M. B.**



Reconstitution schématisée de l'usage des pailles par les membres de la noblesse de la culture de Maïkop.

VIKTOR TRIFONOV ET AL. / PENN MUSEUM / BRITISH MUSEUM - V. TRIFONOV

EN DEUX MOTS

HISTOIRE Un jeu de société gravé sur pierre vieux de 4000 ans, dont les règles restent à élucider, a été retrouvé dans les vestiges d'un village de l'âge du bronze à Oman. **NAUFRAGE** Des chercheurs australiens affirment avoir retrouvé l'épave du célèbre navire du capitaine James Cook, *l'Endeavour*, qui avait coulé au large des côtes de l'État américain de Rhode Island en 1778. **PALÉONTOLOGIE** Deux lieux de fouilles sur le causse Méjean en Lozère ont été classés « sites à conservation exceptionnelle ».

64 Le nombre de corps exhumés d'un ancien stalag en Pologne

HISTOIRE Débutées en octobre 2021, les fouilles du site d'un ancien camp de prisonniers de guerre de Stargard (Pologne), dit stalag II-D, ont dévoilé des dizaines de fosses communes. Les 64 premiers corps retrouvés, vraisemblablement ceux de prisonniers soviétiques morts en décembre 1941, vont faire l'objet d'une procédure d'identification combinant analyse génétique et recours aux archives. **S. L.**

SOURCE : A. OSSOWSKI, UNIV. DE POMÉRANIE, POLOGNE

Un bol de 1800 ans miraculeusement conservé

BERT BEELEN

L'objet en verre bleu ne comporte pas la moindre fissure.

ARCHÉOLOGIE Pas une fissure, pas une ébréchure, malgré quelque 1800 ans passés sous terre : ce bol romain en verre bleu a été découvert dans un état de conservation spectaculaire rarissime par des archéologues à Nimègue (Pays Bas). En 98 de notre ère, Nimègue fut la première ville des Pays-Bas actuels à recevoir le statut de *municipium*, qui confère à une cité hors d'Italie son rattachement à l'Empire romain. **M. B.**

FABRIZIO DE ROSSI

L'animal préhistorique aurait eu un mode de vie solitaire.

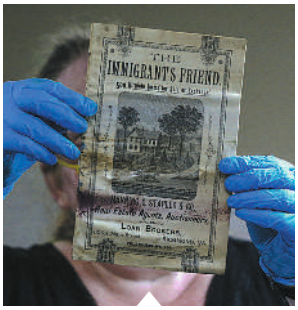
Cet ankylosaure était lent et sourd

PALÉONTOLOGIE Dur d'oreille, lent et pataud : le portrait de *Struthiosaurus austriacus* ne plaide pas en sa faveur ! Le fossile de ce dinosaure à armures a été retrouvé en Autriche. Son crâne a notamment permis de reconstituer les structures de son oreille interne, indiquant de faibles capacités auditives et proprioceptives et suggérant un mode de vie solitaire, à la façon d'une tortue. **J. I.**

SOURCE : M. SCHADE, UNIV. DE GREIFSWALD, ALLEMAGNE

La capsule temporelle des Confédérés

PATRIMOINE Le déboulonnage d'une statue du général confédéré Robert Lee, à Richmond, en Virginie (États-Unis), a fait ressurgir une capsule temporelle enfouie en 1887 dans son socle. Elle contenait des munitions de la guerre de Sécession, des billets et pièces, des journaux, des livres, une Bible et des documents maçonniques. Aucune trace en revanche d'une photographie inédite du président Abraham Lincoln espérée des collectionneurs. **M. B.**



BOBBROWN/AP/SIPA

Cette brochure fait partie des objets enfouis dans le socle de la statue en 1887.

HS2/PA

La figurine (vue de face et de profil) daterait de la conquête romaine.

Une rare statuette en bois découverte en Angleterre

ANTIQUITÉ Une très rare figure en bois sculpté a été mise au jour dans un fossé du Buckinghamshire (Angleterre). Haute de 67 centimètres, elle représente un personnage vêtu d'un habit drapé arrivant à mi-cuisses, probablement une tunique. La sculpture daterait du début de la présence romaine sur le territoire anglais. Une estimation confirmée par des tessons de poterie découverts dans le même fossé et datant, eux, de 43 à 70 après J.-C. **M. B.**

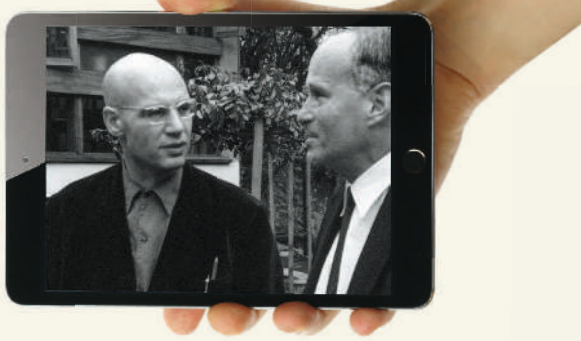
IHES/AFP - M.SULLIVAN/OCEAN ART 2021 - REFINE - PHANIE

www.sciencesetavenir.fr
www.larecherche.fr
Sciences et Avenir et *La Recherche* au quotidien

MATHÉMATIQUES

Dans la tête d'Alexandre Grothendieck

Livre-fleuve de plus de 2500 pages, *Récoltes et Semailles* écrit par Alexandre Grothendieck (1928-2014) permet d'entrer dans la tête de ce génie des mathématiques. La publication inédite par les éditions Gallimard de ce texte qui mélange témoignage et introspection *(lire aussi p. 89)* est l'occasion de revenir sur le contenu de cet ouvrage singulier avec la mathématicienne Leila Schneps qui avait pu rencontrer l'ermite. Interview sur le site de *La Recherche*.
https://bit.ly/3LJN5yv



EXPOSITION

Rencontre avec Enki Bilal

À l'occasion de la carte blanche donnée par le musée de l'Homme à Enki Bilal dans le cadre de l'exposition « Aux frontières de l'humain », *Sciences et Avenir* a rencontré le célèbre auteur-illustrateur de BD pour une interview vidéo exclusive où l'artiste dialogue avec le zoologiste et systématicien Guillaume Lecointre, conseiller scientifique de l'exposition. sciav.fr/901bilal

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

L'océan sous l'œil des photographes

Diaporama des 10 images gagnantes de la dixième édition du concours photos Ocean Art Underwater, qui célèbre les océans et les étendues d'eau douce de la planète.
sciav.fr/901ocean

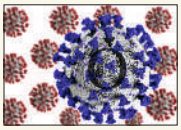
5 minutes

4 robots dans la pénombre marine

En mai 2022, des *« flotteurs profileurs »* robotisés seront mis à l'eau pour étudier la migration du plancton animal entre 100 et 1000 mètres de profondeur.
sciav.fr/901refine

10 minutes

Sur les traces du variant Omicron



Enquête sur les origines d'un variant atypique du Covid-19 avec Darren Martin, de l'université du Cap (Afrique du Sud), où le variant a été repéré pour la première fois.
sciav.fr/901omicron

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

Nucléaire
Peut-il être propre ?

La Commission européenne a accordé au nucléaire un label « vert », mettant en avant son bilan carbone comparable à celui de l'éolien, et même inférieur à celui du solaire. Mais peut-on pour autant parler d'énergie propre si l'on prend en compte déchets radioactifs, pollutions persistantes et catastrophes ? C'est une histoire de climat et d'argent, de science et de politique, que « Sciences et Avenir » s'emploie à démêler dans ce dossier.

Dossier réalisé par
Franck Daninos, Rachel Mulot, Fabrice Nicot et Sylvie Rouat

ENVIRONNEMENT
L'épineux bilan des centrales actuelles
p. 32

SÛRETÉ
Les morts du nucléaire
p. 37

TRAITEMENT
Des déchets encombrants
p. 38

SELS FONDUS
Le retour en grâce d'une technologie
p. 40

FUSION
Un possible nucléaire sans déchets à vie longue
p. 44

GILLES ROLLE/REA

La centrale de Belleville-sur-Loire (Cher) a été mise en service entre 1987 et 1988. Elle comprend deux réacteurs à eau sous pression de 1300 mégawatts chacun.

L'épineux bilan des centrales actuelles

L'impact sur l'environnement de l'énergie nucléaire est contrasté : certes, les centrales émettent peu de gaz à effet de serre, mais c'est sans compter avec la délicate gestion des déchets radioactifs et les risques d'accident.

C'est un marathon d'analyses qui vient de s'achever. Depuis quatre ans, la Commission européenne commande et dissèque des rapports pour sortir de la crise climatique et environnementale et satisfaire à l'accord de Paris. Mais concrètement, et de façon épineuse, ses experts se contredisent. Un premier rapport de la Plateforme pour une finance durable (1), publié en mars 2020, estimait ainsi l'énergie nucléaire « *incompatible avec les ambitions environnementales* » de l'Union. En mars 2021 (2), les experts du Centre commun de recherche (JRC), service scientifique de la Commission lié à Euratom — un organisme public européen chargé de coordonner les programmes de recherche sur l'énergie nucléaire —, s'étaient en revanche déclarés favorables à l'atome, considérant qu'il n'y avait « *aucune preuve scientifique que l'énergie nucléaire [soit] plus dommageable pour la santé humaine ou l'environnement que d'autres technologies de production d'électricité* » déjà acceptées par la Commission. Un ultime rapport (3), commandé dans la précipitation le 31 décembre 2021 et issu du premier groupe, estimait enfin, en réponse, impossible de « *considérer le nucléaire comme une énergie de transition* », notamment parce qu'il pourrait « *nuire à l'environnement* ». Sa publication, le 21 janvier, n'a pas dissuadé la Commission européenne d'accorder un label « vert » à l'énergie nucléaire quelques jours plus tard. Entre-temps, États membres, lobbys, ONG, membres éminents de la Commission et même experts avaient multiplié les pressions, en coulisse ou publiquement. La décision finale est évidemment politique et stratégique. Mais que dit la science ? Considérons la question posée aux experts mandatés par la Commission européenne : le nucléaire est-il une acti-

CONTEXTE

Onze ans après la catastrophe de Fukushima (Japon), la Commission européenne a décidé, le 2 février, de favoriser l'électricité nucléaire, très peu émettrice de gaz à effet de serre. Pour atteindre la neutralité carbone en 2050 (avec une étape à -55% d'émissions de gaz à effet de serre en 2030 par rapport aux niveaux de 1990), l'Europe a voulu orienter les investissements vers des activités durables, qui limitent le changement climatique sans causer de préjudices à l'environnement. Elle a donc défini une « taxonomie » verte liée à l'impact environnemental, assortie de financements avantageux. Et y a inclus *in extremis* l'énergie nucléaire, avec l'obligation de recourir

L'EPR, réacteur nucléaire à eau pressurisée de 3e génération en construction à Flamanville (Manche), pourrait utiliser 100 % de combustible Mox.

FRANCESCO ACERBIS / SIGNATURES

vité durable selon les critères discutés à partir de 2018, validés en 2020 ? Pour obtenir un sésame vert, « *l'activité doit démontrer une contribution substantielle à un objectif environnemental, tel que l'atténuation du changement climatique* », détaille Dawn Slevin, membre du Technical Expert Group (TEG) chargé par la Commission de faire le tri entre les activités polluantes ou non — le nucléaire n'est que l'une des 70 activités (avec l'agriculture, le bâtiment ou le transport) ayant été passées à ce filtre critique (4). « *L'activité ne doit causer aucun dommage significatif* [selon le critère DNSH *"Do not significant harm"*] *aux cinq autres objectifs environnementaux européens : l'adaptation au changement climatique, l'utilisation durable et la protection des ressources hydriques et marines, la transition vers une économie circulaire, y compris en matière de déchets, la prévention et le contrôle de la pollution et, enfin, la protection et la restauration de la biodiversité et des écosystèmes* », précise cette spécialiste des risques et des déchets.

Un réel impact sur l'atténuation du changement climatique

Résultat ? Le nucléaire l'emporte indiscutablement sur le premier point : l'atténuation du changement climatique. Car à l'instar de l'éolien, il émet peu de gaz à effet de serre responsables du réchauffement. C'est le seul point qui mette tous les experts d'accord, sachant que la Commission a fixé un seuil d'émissions à ne pas dépasser : 100 g d'équivalent CO_2 ($geqCO_2$) pour

aux meilleures technologies disponibles et une limitation dans le temps. Pas de permis de construire après 2045 pour les nouvelles centrales atomiques — du type EPR (réacteur à eau pressurisée). Et aucuns travaux pour prolonger la durée de vie des centrales existantes (jusqu'à 50 ou 60 ans) qui n'aient été autorisés avant 2040. Cependant, les différents experts mandatés par la Commission européenne ne s'accordent pas sur les bilans environnementaux de l'industrie de l'atome. Aussi, le Parlement européen pourrait retoquer cette décision au cours des prochains mois. Mais c'est sans attendre que le président Emmanuel Macron a annoncé le 11 février la construction de 14 nouveaux EPR.

produire un kilowattheure d'électricité (de quoi rôtir un poulet pendant une heure). Certes, dans certains cas, la filière dépasse ce seuil et peut générer jusqu'à 110 geqCO_2/kWh. Cela se produit quand l'énergie consommée pour creuser les mines ou convertir l'uranium *(voir l'infographie ci-contre)* est importante et d'origine fossile (pétrole, charbon), selon une étude de 2018 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec). Un travail précèdent de 2014 fait même état de 220 geqCO_2/kWh !

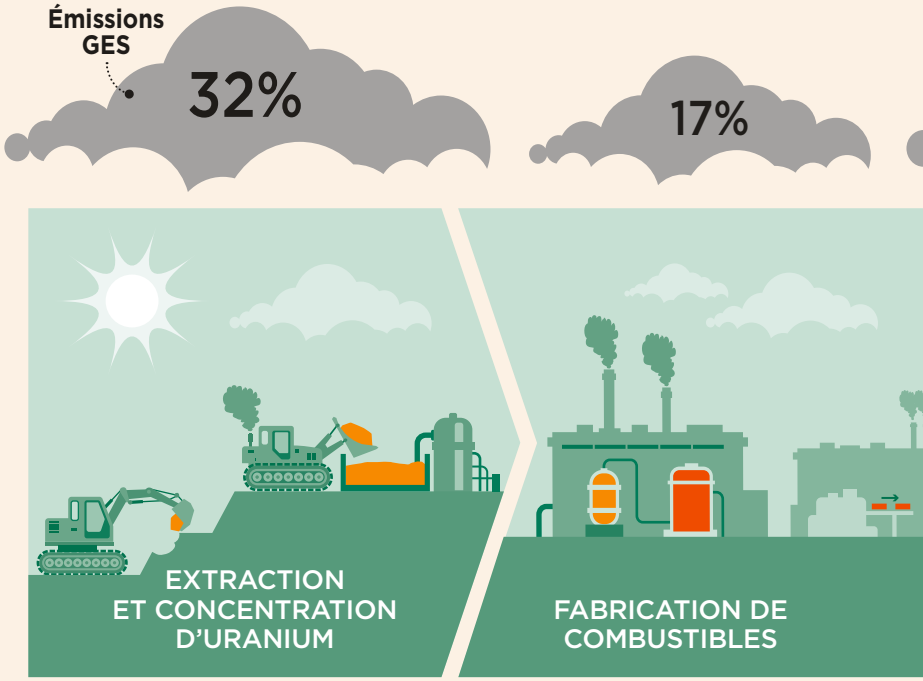
Des chiffres qui peinent à être vérifiés

Ces chiffres sont à considérer avec prudence, car les scientifiques concèdent avoir beaucoup de mal à harmoniser des données très disparates selon les pays, les acteurs et la méthodologie des bilans disponibles. Néanmoins, pour l'Europe des 27, « *les émissions des filières se situeraient entre 5,1 et 6,4 geqCO_2/kWh* », estime un membre de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Pour la France, un même chiffre revient toujours depuis une quinzaine d'années : 6 geqCO_2/kWh, si l'on se fie au site de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie (Ademe). Problème : il est impossible de trouver l'étude qui a permis de l'obtenir, et donc de savoir quelle partie du « cycle » nucléaire elle a réellement prise en compte. Le ministère de la Transition écologique n'a pas répondu à nos questions. Aucun des spécialistes interrogés n'a pu nous éclairer. Pas même l'ingénieur polytechnicien Jean-Marc Jancovici, membre du Comité de gouvernance de la base carbone (Cogo) créé en 2010 et présidé par l'Ademe. Et pour cause : « *Le Cogo n'existait pas pour valider le chiffre de 6 geqCO_2/kWh du nucléaire, qui est une donnée historique de l'époque du bilan carbone* » reconnaît l'Ademe, soucieuse de transparence. Bref, ce chiffre aurait été accepté tel quel. La vérité, selon l'Ademe, est tout simplement qu'il « *n'existe pas d'analyse de cycle de vie du*

FILIÈRE FRANÇAISE

L'empreinte environnementale de l'atome

Le nucléaire émet peu de gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique. Mais certains postes pèsent plus lourd que d'autres : l'extraction d'uranium et le cycle construction-démantèlement des centrales.



BRUNO BOURGEOIS - SOURCES : IRSN/CEA/ORANO/EDF/ANDRA

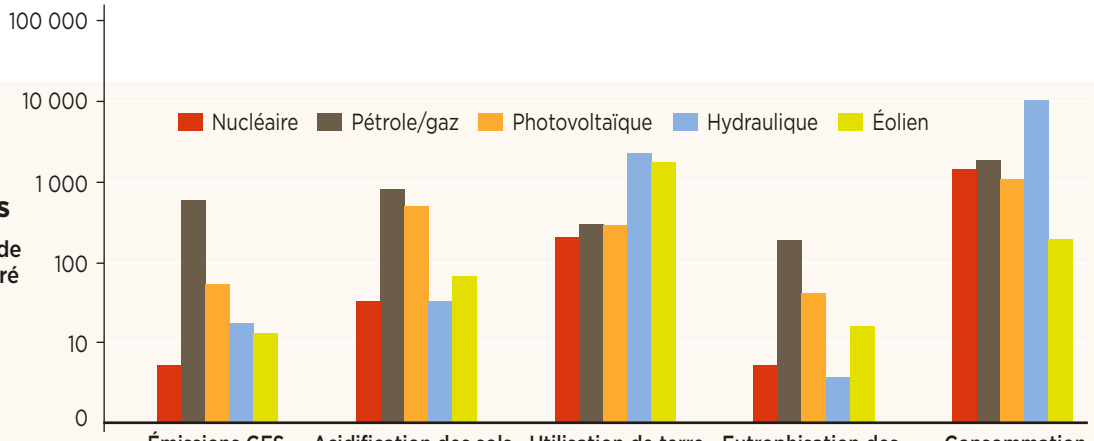
La France importe 8000 à 8400 tonnes de minerai d'uranium par an pour alimenter ses réacteurs. Le minerai est extrait des mines du Kazakhstan, Niger, Canada, etc., puis dissous pour fabriquer une poudre, le Yellow Cake, envoyée en France pour purification à Malvesi (Aude), et concentration à Pierrelatte (Drôme).

Environ 1000 tonnes d'uranium enrichi servent à la fabrication de combustibles. L'uranium est enrichi en isotope 235 fissile (le seul générant de l'énergie) à Tricastin (Drôme), puis convoyé à Romans (Isère), converti en poudre d'oxyde d'uranium, comprimé en pastilles assemblées ensuite dans des combustibles crayons.

Le nucléaire comparé aux autres énergies

L'impact écologique de l'atome est ici comparé à celui du pétrole, de l'hydraulique, de l'éolien et du photovoltaïque, avec différentes unités de mesure. L'échelle est logarithmique, avec le même écart graphique entre 1 et 10, 10 et 100, 100 et 1000.

SOURCE CEA/ECOINVENT.



Émissions GES $geqCO_2/KWh$

▸ Il émet moins de grammes équivalent dioxyde de carbone (CO_2) par kWh que le solaire et l'éolien.

Acidification des sols $mgeqSO_2/KWh$

▸ Il émet moins de milligrammes équivalent dioxyde de soufre (SO_2) par kWh que le solaire et l'éolien.

Utilisation de terre m^2/GWh

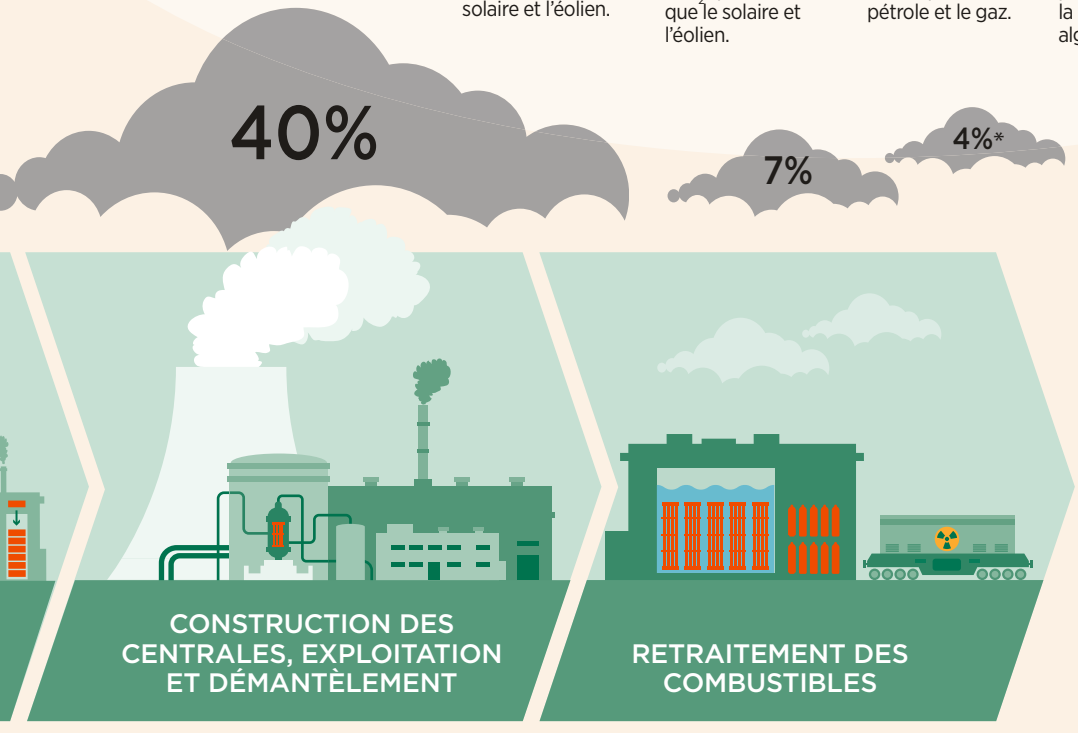
▸ Il mobilise autant de m^2 au sol par gigawattheure (mille millions de kWh) que le pétrole et le gaz.

Eutrophisation des eaux $mgeqPO_4/KWh$

▸ Il rejette peu de milligrammes équivalent phosphates (PO_4) par kWh favorisant la prolifération des algues sur le littoral.

Consommation d'eau L/MWh

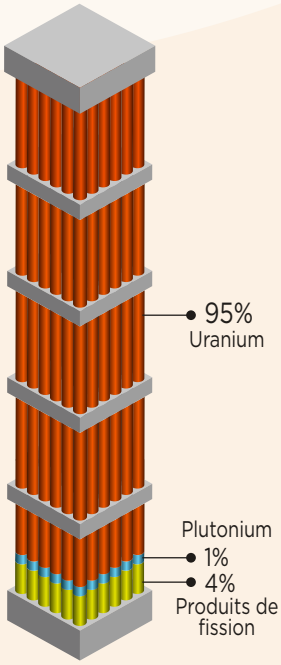
▸ Il est presque aussi gourmand en eau que l'énergie pétrolière.



▸ **Depuis l'arrêt de Fessenheim (Haut-Rhin) en 2020, 56 réacteurs répartis dans 18 centrales produisent de l'électricité nucléaire. Un seul, Chooz A (Ardennes) (1967-1991), achève son démantèlement. Un autre, l'EPR, est en cours de construction.**

▸ **Après quatre ans d'alimentation des réacteurs, les crayons passent des années à refroidir dans des piscines à La Hague (Manche). Leurs éléments sont ensuite séparés pour favoriser le recyclage.**

* Transports, entreposage et stockage des déchets essentiellement.



DES COMBUSTIBLES USÉS TRÈS PEU RECYCLÉS

▸ **Les produits de fission, hautement radioactifs, iront à terme dans un stockage géologique profond. Le plutonium sert à fabriquer du combustible Mox. L'uranium est envoyé pour partie en Sibérie à des fins de retraitement et d'enrichissement.**

parc nucléaire français disponible publiquement à l'heure actuelle », certaines informations relevant du secret industriel. « *Seuls EDF et Orano* [anciennement Areva, multinationale française spécialisée dans les métiers du combustible nucléaire] *possèdent toutes les données nécessaires pour réaliser une évaluation des émissions selon la norme internationale ISO 14040, qui normalement doit intégrer l'ensemble du cycle de vie de la filière, de la mine d'uranium, jusqu'au démantèlement et à l'enfouissement des déchets radioactifs.* » Soit, du berceau à la tombe.

Le bon bilan carbone de la filière française

Les rares scientifiques extérieurs aux deux groupes industriels qui aient eu accès à ces informations sensibles sont les chercheurs Stéphane Bourg et Didier Hartmann, du CEA Isec (Institut des sciences et technologies pour une économie circulaire des énergies bas carbone du Commissariat à l'énergie atomique). En 2018, ils ont effectué une « *analyse comparée des impacts pour l'environnement* » (5) prenant en compte les usines, les installations d'entreposage intermédiaire et de stockage, ainsi que les flux de matières et de déchets. À noter que si cette étude a vu le jour, c'est grâce à la transparence exigée par le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).

Siglée Orano et réalisée avec le concours d'EDF, cette analyse du CEA ne se réfère pas explicitement à la norme ISO 14040 (même si elle en a appliqué la méthodologie), n'est pas exhaustive — notamment sur les transports, un poste d'émissions mineur — et n'a pas été évaluée par des pairs scientifiques. Il n'empêche, selon Stéphane Bourg, « *elle est l'une des plus précises et complètes menées à ce jour.* » Ses résultats sont discrètement nichés sur le site de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) alors qu'il y aurait pourtant de quoi pavoiser, car le bilan de la filière française serait d'environ 4 geqCO_2/kWh seulement ! Par quels atouts ? « *Dans l'Hexagone, tout le cycle du combustible (fabrication, retraitement, entreposage, etc.) est alimenté par l'électricité nucléaire, donc décarbonée, et les usines modernes sont devenues moins énergivores* », détaille Stéphane Bourg. Le cas le plus marquant est celui de l'usine Georges-Besse II d'enrichissement d'uranium, mise en service en 2011 sur le site de Tricastin : elle marque l'abandon de la technologie de diffusion gazeuse au profit de l'ultracentrifugation — une technologie britannique — permettant une consommation d'énergie 50 fois moindre.

Restent les mines d'uranium à l'étranger, qui, elles, ne sont pas alimentées par une énergie décarbonée. Globalement, l'amont du cycle émet près d'un tiers des gaz à effet de serre du cycle français. Le bilan carbone d'une mine dépend essentiellement de sa concentration en uranium (plus il est dense, moins il y a besoin de creuser puis de concentrer en usines). Mais aussi des techniques mises en œuvre. Les mines du Kazakhstan, exploitées par lixiviation *in situ*, une méthode d'extraction par dissolution de l'élément chimique directement dans le sous-sol sans extraire le minerai, consomment moins d'énergie que celles du Niger (souterraines ou à ciel ouvert). En contrepartie, « *l'injection d'acide sulfurique dans leurs puits pourrait avoir à long terme d'autres impacts environnementaux non ressentis à ce jour, en plus des émissions de radon, un gaz radioactif* », précise Stéphane Bourg.

Des fuites de gaz très polluants sont toutefois à déplorer

Ce bon bilan carbone est néanmoins terni par des incidents à répétition. Depuis 2018, l'ASN a relevé 16 « événements significatifs » de fuites de gaz à effet de serre plus nocifs que le dioxyde de carbone : 1,3 à 2 tonnes de SF_6 (hexafluorure de soufre), soit entre 30 000 et 45 000 tonnes équivalent CO_2. Cet isolant électrique est le plus puissant des gaz à effet de serre, avec un potentiel de réchauffement 23 500 fois supérieur à celui du CO_2, pour une durée de vie de 3200 ans… À déplorer également : la dispersion de plusieurs tonnes de fluides frigorigènes, dont le potentiel de réchauffement est de 1200 à 3000 fois supérieur à celui du CO_2 selon le type de gaz. Notons qu'il n'existe pas

ENVIRONNEMENT

Un impact préoccupant sur le milieu aquatique

Si le nucléaire ne participe pas plus à la pollution aérienne et à l'appauvrissement de la couche d'ozone que le solaire et le photovoltaïque, il est en revanche un point plus préoccupant : son impact sur le milieu aquatique. Les grandes centrales nucléaires intérieures prélèvent ainsi une énorme quantité d'eau de rivière ou de lac pour leurs systèmes de refroidissement. Réchauffées jusqu'à 30 °C, rejetées, ces eaux ont un potentiel de pollution thermique important pour la faune et la flore, alors même que le changement climatique contribue déjà à réchauffer ou assécher les milieux aquatiques.

STÉPHANE BOURG

« Dans l'Hexagone, tout le cycle de fabrication du combustible est alimenté par l'électricité nucléaire, donc décarbonée »

Stéphane Bourg, chercheur à l'Institut des sciences et techniques pour une économie circulaire des énergies bas carbone du CEA

SÛRETÉ

Les morts du nucléaire

Si la production d'énergie par le nucléaire affiche un nombre de victimes inférieur en comparaison de celui provoqué par l'exploitation d'énergies fossiles, les impacts directs ou indirects d'un accident n'en restent pas moins très graves.

KIMIMASA MAYAMA/AFP

Les effets à long terme de la pollution radioactive des zones contaminées après un accident nucléaire sont difficiles à évaluer (ici des mesures de radioactivité effectuées en 2018 à Fukushima, au Japon).

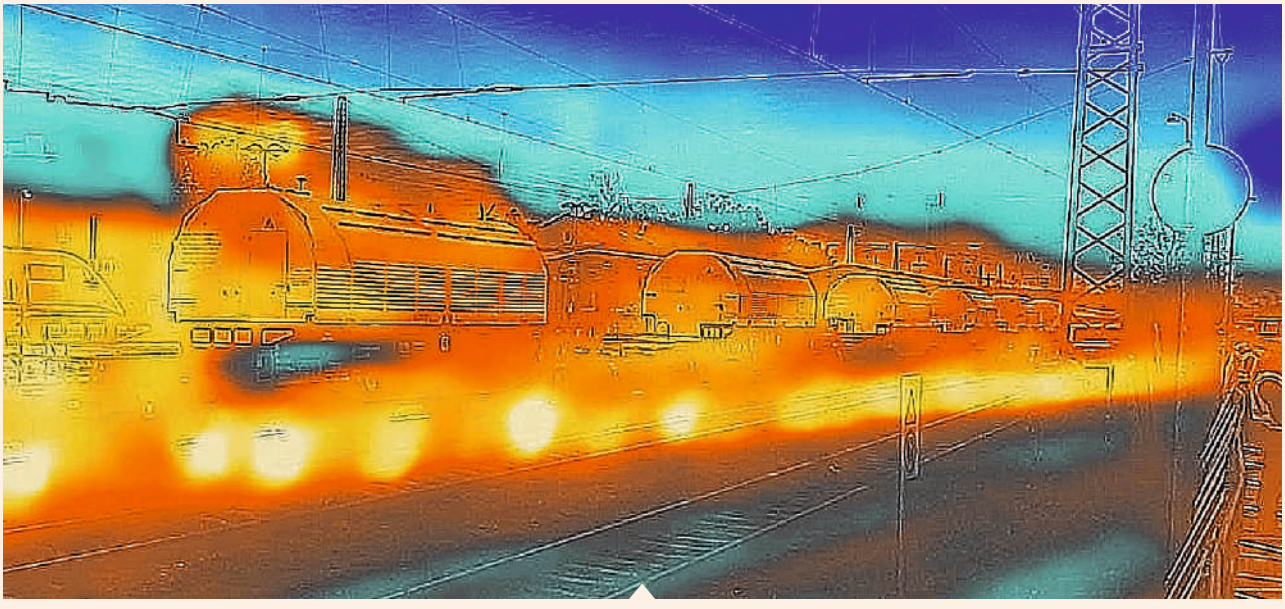
Trente-et-une morts immédiates, et entre 9000 et 33 000 victimes supplémentaires dans les cinquante années qui suivent si l'on applique les coefficients actuels pour évaluer le risque en fonction de la dose de rayonnement : voici le bilan humain de la catastrophe de Tchernobyl (1986). Du moins selon l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE. Sans compter les milliers de malformations chez les nouveau-nés, les maladies chez les enfants et les adolescents, les avortements, pour un bilan final inconnu. Pour qu'un tel accident ne se reproduise plus, la sûreté des centrales fut renforcée, donnant naissance à celles que l'on appelle de « 3e génération ». Mais la catastrophe de Fukushima (2011) a montré leurs insuffisances. À nouveau, le bilan sanitaire réel reste inconnu. Les réacteurs européens à eau pressurisée (EPR) vont encore un cran plus loin, avec notamment des « cendriers » géants pour récupérer le cœur fondu en cas d'accident. Mais leur complexité est devenue telle que s'accumulent retards, déboires techniques et financiers ainsi que pannes. Seuls trois sont en service (Taishan 1 et 2 en Chine et Olkiluoto en Finlande) et trois autres en construction (Flamanville dans la Manche, Hinkley Point 1 et 2 au Royaume-Uni). Le Centre commun de recherche estime néanmoins aujourd'hui que *« le taux de mortalité caractérisant ces centrales à la pointe de la technologie sont parmi les plus faibles de toutes les technologies de production d'électricité existantes »*, avec huit à dix décès par production de gigawattheure, contre dix fois plus au minimum pour le pétrole. Mais *« les accidents nucléaires peuvent entraîner d'autres impacts directs et indirects graves qui pourraient être plus difficiles à évaluer. »* En particulier, la pollution radioactive à long terme des zones contaminées.

TRAITEMENT

Des déchets encombrants jusqu'à saturation

Faute d'un retraitement de l'uranium appauvri, il y a plus de déchets nucléaires en France que ceux figurant dans l'inventaire officiel. Et les plus radioactifs d'entre eux attendent toujours que soit accepté le projet de leur enfouissement profond.

En France, depuis 1963, l'électricité nucléaire a généré 1 021 700 m^3 de déchets radioactifs, selon la dernière estimation pour 2020 de l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) publiée le 9 février. Plus de 90 % de ces déchets, dits de très faible activité et de faible et moyenne activité à vie courte, sont déjà ou seront stockés dans les centres de surface de l'Andra dans la Manche ou dans l'Aube. 6 % sont des déchets de faible activité à vie longue pour lesquels des solutions sont à l'étude. Quant aux 3 à 4 % de déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue, représentant 99 % de la radioactivité des résidus, ils sont destinés à être pris en charge par Cigéo, le projet de Centre industriel de stockage en couche géologique profonde entre Meuse et Haute-Marne. Ils patientent depuis des décennies sur le site d'Orano à La Hague (Manche), et depuis septembre 2020 à l'Iceda (installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés), sur le site de Bugey (Ain). La demande d'autorisation pour Cigéo ne sera déposée que cette année et, au plus tôt, le centre ouvrira en 2035. « *Le stockage géologique profond des déchets nucléaires de haute activité implique la nécessité d'une assurance qualité et d'un contrôle adéquat de la compatibilité des formes de déchets, ainsi qu'un suivi des impacts sur la santé et de la préservation des*



EPA-EFE/RONALD WITTEK

Un convoi de conteneurs Castor transportant des déchets nucléaires de la centrale britannique de Sellafield vers la centrale nucléaire à l'arrêt de Biblis, en Allemagne, pour un stockage provisoire (photo prise en caméra à infrarouge en novembre 2020).

connaissances pendant peut-être des milliers d'années, prévient le TEG (Technical Expert Group) de l'Union européenne. *Elle nécessite également une démonstration opérationnelle du stockage en Europe.* »
D'autres écueils sont à souligner : la filière nucléaire française se targue de fonctionner selon un cycle fermé en retraitant une partie de ses matières. Mais, selon l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), la filière ne parvient pas à valoriser les 7000 tonnes annuelles d'uranium appauvri (issues du processus d'enrichissement de l'uranium naturel nécessaire à la fabrication du combustible, *voir l'infographie p. 34*).
Et pour le plutonium, l'usine de retraitement d'Orano dans le Gard *(voir l'infographie p. 33)*, destinée à fabriquer du Mox, sera saturée dès cette année.
Au point que ces matières pourraient devoir être considérées comme des déchets ultimes. Reste l'uranium déjà irradié : seules 1150 tonnes d'uranium sur 34 100 tonnes en métaux lourds (t ML) ont été envoyées ces dernières années au russe Rosatom, afin d'être à nouveau enrichies et intégrées à de nouveaux combustibles.
EDF espère utiliser ce type de « carburant » à partir de 2023 dans les centrales d'Ardèche.

d'estimations au niveau européen ou mondial pour ce type de pollutions.
Qu'en est-il des autres critères examinés par les experts pour la Commission ? Leur hantise, ce sont les pollutions qui pourraient être engendrées par une catastrophe nucléaire, comme il s'en est produit à Tchernobyl ou à Fukushima. Même le Centre commun de recherche, favorable à l'atome, reconnaît dans son rapport de 2021 (2) que *« le risque d'accident nucléaire grave ne peut être exclu »*, y compris dans les meilleures centrales disponibles sur le marché. Précisons que la liste des experts ayant émis cet avis n'est pas publique (contrairement à celle des autres groupes). Autant pour la transparence… De plus, le Centre commun de recherche a reçu 532 millions d'euros pour 2021-2025 dans le cadre du programme Euratom de recherche et de formation, même si la Commission européenne assure qu'*« aucun de ses nombreux examens n'a détecté de problème ou de préoccupation concernant son indépendance, sa rigueur scientifique ou son intégrité »*.

UNIVERSITY COLLEGE DUBLIN

« La responsabilité de l'exploitant en cas d'accident grave est limitée »
Andreas Hoepner, professeur à l'université de Dublin (Irlande)

Une surveillance renforcée de la filière civile est souhaitée

Le point critique, souligne Andreas Hoepner, professeur de « risque opérationnel, banque et finances » à l'université de Dublin (Irlande), membre du TEG, c'est que *« la responsabilité de l'exploitant en cas d'accident grave est limitée et les coûts restants sont (en grande partie) pris en charge par l'État : c'est la privatisation des bénéfices et la socialisation des risques, sans parler des conséquences pour les populations environnantes, déplacées, touchées, etc.* » Il est encore *« sonné »* par la décision de la Commission européenne, qui a mobilisé beaucoup d'économistes, privés ou publics, aux côtés d'universitaires, de membres d'ONG et de la société civile pour construire la « Plateforme pour une finance durable » destinée à guider ses choix, sans tenir compte *in fine* de ses analyses (1) (3) (4). Autres écueils de poids : les incidents à répétition, comme ceux de la centrale de Tricastin (Drôme), que dénonce désormais un lanceur d'alerte, les pollutions — en particulier thermiques — et l'accumulation des déchets (notamment de haute activité, *lire l'encadré p. 38*).
Face à ces menaces et préoccupations, plusieurs observateurs de l'Union européenne des 27 contactés par *Sciences et Avenir* — de la Hongrie à l'Allemagne en passant par la Grèce, l'Autriche, le Danemark, les Pays-Bas ou la Pologne — recommandent une surveillance sourcilleuse de la filière civile atomique. Sans savoir si leurs gouvernements, lorsqu'ils sont pro-nucléaires, s'en donneraient les moyens. Certains incidents, des pollutions, ne sont pas rendus publics. *« Les contrôles nécessitent un haut niveau d'expertise, avec des structures indépendantes de l'industrie à même de préserver l'intérêt commun aux niveaux international, européen et national »*, estime l'un de ces observateurs, peu optimiste, soucieux de conserver l'anonymat. En France, l'Autorité de sûreté nucléaire est devenue une autorité administrative indépendante en 2006. Bien qu'elle ait amorcé une réflexion et un mouvement dans 17 pays d'Europe de l'Ouest, un énorme travail reste à accomplir. ■

R. M. @RachelFleaux

(1) sciav.fr/901dur1 ; (2) sciav.fr/901JRC ;
(3) sciav.fr/901dur2 ; (4) sciav.fr/901finance ;
(5) À télécharger sur le site de l'ASN : sciav.fr/901gestion

Réacteurs à sels fondus : le retour en grâce

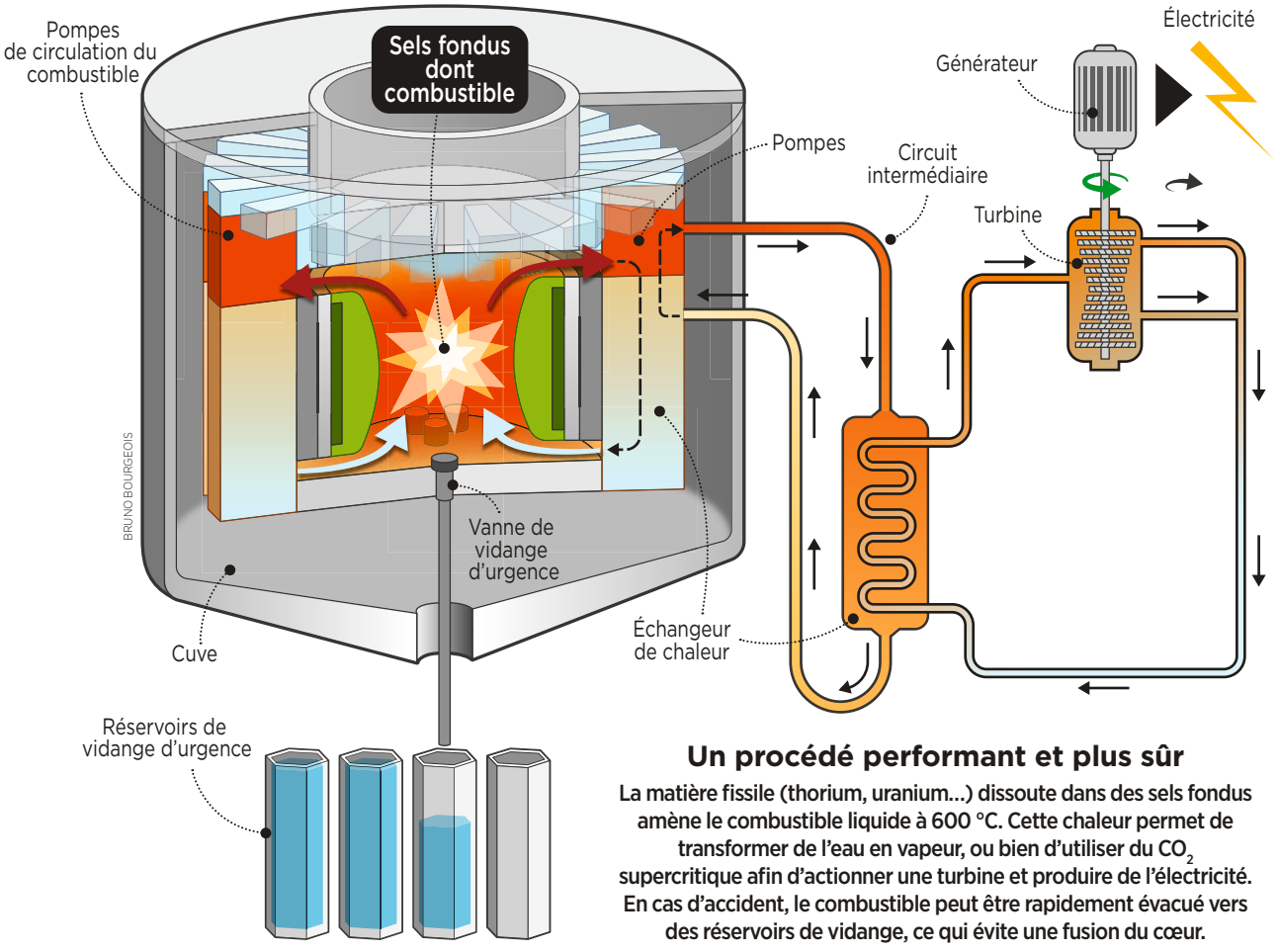
Cette technologie permet d'alimenter les réacteurs avec une large variété de combustibles sous forme liquide, y compris des déchets. En optant pour des unités de très petite taille, cette filière promet aussi une grande souplesse pour s'adapter aux besoins locaux.

C'est la technologie qui monte. Ou plutôt qui remonte… Les réacteurs nucléaires à sels fondus, ou MSR (Molten Salt Reactor), enterrés dans les années 1970, reviennent en force. En octobre 2021, le CEA et le CNRS réunissaient une centaine d'experts et d'acteurs du nucléaire à Avignon dans un « bootcamp » (selon la dénomination des organisateurs) visant à fédérer une communauté MSR à la française en mêlant cours, ateliers et conférences. L'ambiance était à l'allégresse. Deux mois plus tôt, la Chine annonçait l'achèvement d'un prototype de MSR au thorium dans le désert de Gobi. Avec un objectif de production de 2 mégawatts (MW), il s'agit d'un test grandeur nature avant de se lancer dans une version « XL » de 373 MW, prévue pour 2030. Mais derrière le gros arbre chinois se cache toute une forêt de réacteurs de tailles diverses, des petits comme le MCFR de TerraPower (1,2 MW), porté par le milliardaire américain Bill Gates, ou des moyens comme l'IMSR (195 MW) de Terrestrial Energy au Canada… En tout, près de 70 start-up dans le monde se lancent dans l'aventure du nucléaire à sels fondus.

PALLAVA BAGLA/GETTY IMAGES

Le thorium, ici sous la forme de pastilles, est l'un des combustibles pouvant être utilisés dans les réacteurs à sels fondus.

Drôle de retour en grâce pour une technologie connue depuis près de soixante-dix ans. Le laboratoire national d'Oak Ridge, aux États-Unis, a même fait tourner un prototype entre 1964 et 1969, sans jamais passer à la phase industrielle. Malgré l'absence d'incidents majeurs, la Commission de l'énergie atomique des États-Unis coupa brutalement les crédits, et misa tout sur les réacteurs à eau sous pression (REP), la filière actuelle. *« Ce choix n'était pas scientifique, c'est sûr,* confie Elsa Merle, qui dirige le projet MSFR (Molten Salt Fast Reactor) de réacteurs à sels fondus au sein du Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble. *Il était sans doute motivé par les relations exécrables entre Oak Ridge, qui défendait avec virulence son projet, et la commission, qui avait une préférence pour le REP.* » La France emboîte alors le pas des Américains et achète cette technologie pour son propre programme nucléaire. Les réacteurs à sels fondus reviennent timidement dans les laboratoires français avec la loi Bataille de 1991, qui oblige tous les organismes scientifiques à travailler sur le retraitement des déchets. Ce type de réacteur peut justement intégrer du combustible nucléaire usagé comme matière fissile. *« Pendant longtemps, nous n'étions qu'une poignée de chercheurs sur ce sujet,* se souvient Elsa Merle qui s'y consacre depuis 2004. *Le projet phare en matière de recyclage était ASTRID* [prototype de réacteur



Un procédé performant et plus sûr

La matière fissile (thorium, uranium…) dissoute dans des sels fondus amène le combustible liquide à 600 °C. Cette chaleur permet de transformer de l'eau en vapeur, ou bien d'utiliser du CO_2 supercritique afin d'actionner une turbine et produire de l'électricité. En cas d'accident, le combustible peut être rapidement évacué vers des réservoirs de vidange, ce qui évite une fusion du cœur.

nucléaire à neutrons rapide développé par le CEA, réutilisant du combustible nucléaire usagé]. *Avec le gel du projet en 2019 pour des raisons budgétaires, la France s'est retrouvée sans solution pour faire du nucléaire une source d'énergie durable, car recyclable.* »

Dans les réacteurs à eau sous pression traditionnels, le combustible est sous forme solide. Ce sont des pastilles d'oxyde d'uranium empilées dans des tubes assemblés en crayons. « *Dans les MSR, le combustible est presque aussi fluide et transparent que l'eau,* explique Daniel Heuer, directeur de recherche au CNRS de Grenoble et architecte du projet MSFR. *Il s'agit d'un mélange de sels contenant la matière fissile : fluorure de lithium ou chlorure de sodium. Le tout porté à haute température : entre 600 et 700 °C selon le type de sels. Cette chaleur est ensuite transmise au travers d'un échangeur à un fluide caloporteur, également constitué de sels fondus* [voir l'infographie ci-dessus]. » Et lorsqu'on interroge Daniel Heuer sur l'intérêt d'un combustible fluide par rapport au solide, la réponse fuse : « *Un liquide se manipule plus facilement, à l'aide de pompes, de tuyaux… C'est pour cela que les avions fonctionnent au kérosène et pas au charbon !* »

Une puissance facilement modulable

La sûreté est un bon exemple pour illustrer l'intérêt d'un combustible liquide. « *Une fusion du cœur du réacteur à la suite d'une réaction en chaîne incontrôlée, comme à Fukushima ou à Tchernobyl, est ici impossible,* selon Daniel Heuer. *Si la réaction s'emballe, le combustible chauffe et le liquide se dilate. Une fraction est alors évacuée vers une zone moins active, ce qui, en augmentant la transparence du sel combustible, favorise les fuites de neutrons et baisse la*

COURTESY DANIEL HEUER

« Une fusion du cœur du réacteur comme à Fukushima ou à Tchernobyl est ici impossible »

Daniel Heuer, directeur de recherche au CNRS de Grenoble

réactivité. » Autre avantage : sa pilotabilité. La puissance du réacteur se règle en jouant sur le débit du combustible, donc à température constante, ce qui n'endommage pas les structures du réacteur, contrairement au REP. Cela permet également d'aller plus vite. *« La puissance du réacteur peut croître de 50 % en dix secondes,* estime le chercheur. *De quoi, par exemple, pallier l'intermittence des énergies renouvelables.* »

Le combustible liquide est par ailleurs un vrai fourre-tout : on peut y mettre de l'uranium 235, du plutonium ou encore du thorium, plus abondant et mieux réparti sur la planète. Les MSR sont aussi de potentiels fossoyeurs d'actinides mineurs qui constituent les déchets radioactifs de haute activité à vie longue, les plus problématiques parmi ceux produits par les centrales actuelles.

Enfin, comme ces réacteurs fonctionnent à des températures très élevées, leur rendement est meilleur : ils génèrent moins de déchets par kilowattheure produit. Par ailleurs, *« le fait de recycler en permanence les actinides fait qu'on ne produit pas de résidus radioactifs à vie longue »*, explique Daniel Heuer. Il n'empêche que cela reste du combustible nucléaire, avec les risques afférents : par exemple, le thorium possède une forte radiotoxicité et ne se manipule pas facilement.

La corrosion des tuyaux encore à l'étude

Derrière ces promesses, des aspects restent à étudier, parmi lesquels la chimie des sels fondus, afin de garantir que les tuyaux transportant les sels ne subiront pas de corrosion. Un laboratoire de l'Institut de physique nucléaire d'Orsay se consacre à la recherche sur le nettoyage de sels et la corrosion. En la matière, les chercheurs ne partent pas de zéro. Les sels fondus sont utilisés depuis des décennies par l'industrie. Autre point clé : l'échangeur de chaleur entre le sel radioactif et les autres. Complexe à mettre au point, *« il doit être très efficace et très compact, car il faut le moins de combustible possible dans l'échangeur »*, résume Daniel Heuer. Il y a enfin l'aspect réglementaire, un accord de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) étant indispensable pour mettre en route un réacteur. De ce côté, tout reste à faire. Interrogée sur une réglementation à venir, l'ASN répond qu'elle n'a pas d'éléments *« car il n'y a pas de projet en France »*.
Mais cela pourrait changer très vite. La jeune start-up française Naarea développe un réacteur à sels fondus qui aura la particularité d'être imprimé en 3D, avec de nouveaux matériaux comme le graphène. Également retenue pour plusieurs projets américains, cette technique de construction permet notamment d'assurer l'étanchéité du système fonctionnant avec des liquides, sans recours à des soudures. *« Ou encore de fabriquer des formes de réacteur plus*

RÉSEAUX

Des petites unités pour les régions isolées

Depuis 2020, la première centrale nucléaire flottante au monde fonctionne dans le port russe de Pevek, en Sibérie orientale. Cette installation alimente la région en électricité avec deux réacteurs de seulement 35 mégawatts (MW) chacun, une puissance suffisante pour une ville de 100 000 habitants en remplacement d'une centrale à charbon, ce qui permettra d'éviter l'émission de 50 000 tonnes de CO_2 par an. C'est le premier petit réacteur modulaire — ou SMR pour Small Modular Reactor — en service à ce jour. Avec leur production désormais en série, quatre autres barges devraient bientôt jeter l'ancre dans cette région de la Tchoukotka, tandis qu'un projet terrestre va entrer en construction dans la ville reculée d'Ust-Kuyga, en Iakoutie. Aux États-Unis, au Canada, en Chine, en Europe, le mouvement vers les petits réacteurs est largement amorcé. *« Cette solution permet de décarboner des régions isolées, des sites miniers, et de s'intégrer dans des réseaux électriques de faible taille »*, explique Michel Berthélemy, analyste à l'Agence pour l'énergie nucléaire (OCDE). Aux États-Unis, la société Nuscale a ainsi reçu le feu vert pour construire 12 modules de 77 MW sur le site du laboratoire national de l'Idaho. Mise en service en 2029. S. R.

ALEXANDER RYUMIN/TASS/SIPA

La première centrale nucléaire flottante au monde, dans le port de Pevek (Russie), peut alimenter une ville de 100 000 habitants avec ses deux réacteurs de 35 mégawatts.

DENIS ALLARD/LEEXTRA POUR SCIENCES ET AVENIR-LA RECHERCHE

JEAN-LUC ALEXANDRE P-DG DE NAAREA

« Des milliers de mini-réacteurs d'ici à 2030 »

“Si nous voulons ajuster les offres d'énergie au plus près des besoins des usagers, il faut développer des réacteurs de un à quelques dizaines de mégawatts (MW), qui alimenteront des bateaux, îles, sites industriels… Ces derniers, même les plus importants, n'ont pas besoin de plus de 50 MW. Le réacteur de Naarea fonctionne avec des déchets miniers et les combustibles usagés qui sortent des centrales actuelles après quatre à cinq ans d'utilisation. Considérés aujourd'hui comme des déchets, ils peuvent être réutilisés, après traitement, dans notre réacteur à sels fondus. La matière radioactive déjà utilisée va alors être fissionnée à 99 %. Le volume de déchets sera réduit au minimum et les éléments radioactifs de longue vie éliminés. Notre objectif n'est pas de vendre des réacteurs, mais seulement l'électricité générée. Nous récupérerons les réacteurs en fin de vie pour les régénérer. C'est une garantie de sécurité. Nous voulons produire une énergie moins chère que le charbon, mais qui serait payée au prix du marché par les pays riches et à des tarifs quasi subventionnés par les pays pauvres. Cela permettrait de soutenir leur économie locale, d'alimenter des pompes pour puiser de l'eau, par exemple, et encourager l'agriculture. Nous développons actuellement un « jumeau numérique », une simulation qui retranscrit virtuellement les lois de la physique et réduit drastiquement les durées de développement. Parmi les nombreux tests que nous devons effectuer, il faut, par exemple, étudier le comportement du graphène, un matériau qui offre une résistance exceptionnelle aux attaques corrosives des différents sels. Déjà utilisé dans les peintures marines, il n'a pas encore été employé pour le nucléaire. Nous espérons produire des milliers de réacteurs d'ici à 2030.” ■

Propos recueillis par S. R.

complexes qui favorisent les échanges de chaleur avec l'air ambiant », ajoute Axel Laureau, physicien au CNRS.

Cette technologie, qui permettra de simplifier l'architecture du réacteur, est intéressante notamment parce que Naarea se concentre sur des réacteurs de très petite taille. Cela rejoint ainsi une tendance de fond dans le nucléaire : la mise en place d'une filière de réacteurs modulaires de faible puissance — moins de 300 MW *(lire l'encadré p. 42)*. Quelque 70 concepts hétéroclites sont en développement dans le monde. *« À l'opposé des centrales “cathédrales”, cette filière opte pour la standardisation et la production industrielle de petits réacteurs,* explique Michel Derdevet, professeur à l'Institut d'études politiques de Paris. *C'est une rupture de concept qui répond aux notions d'économie délocalisée.* »

« L'industrie nucléaire a débuté avec de petits réacteurs à eau légère, explique Michel Berthélemy, analyste à l'Agence pour l'énergie nucléaire (OCDE). *Puis, pour augmenter leur puissance et réaliser des économies d'échelle, on a augmenté la taille des réacteurs. Le retour à des réacteurs de petite taille vise aujourd'hui à prioriser l'effet de série.* » En parallèle, l'augmentation du taux de combustion a également permis de produire plus d'énergie avec moins de combustible. Mais ce surplus d'énergie nécessitait davantage d'infrastructures de refroidissement. Les petits réacteurs de quelques mégawatts, à l'instar de Naarea, sont refroidis par la seule convection naturelle, à savoir l'air ambiant ! Ce qui devrait permettre à l'avenir de les installer dans des cargos ou des avions… Si loin des immenses EPR, les petits réacteurs sont une opportunité pour réduire localement les émissions de gaz polluants, mais s'ils ne sont pas correctement tracés, ce sera au prix d'une dangereuse dissémination possible de matériaux radioactifs. ■

F. N. @fnicot07 **et S. R.** @srouat1

Fusion : un possible nucléaire sans déchets à vie longue

Plusieurs expériences, dont celle d'Iter en France, sont menées dans le monde pour domestiquer la fusion thermonucléaire. Cette technologie innovante libérerait quatre fois plus d'énergie que la fission de l'uranium et ne produirait aucun déchet radioactif de haute activité.

« *Une source d'énergie quasiment inépuisable, sûre, et d'un faible impact sur l'environnement.* » Affichée tel un slogan sur le site Internet du réacteur expérimental Iter, actuellement en construction à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône), la promesse apparaît extrêmement séduisante. Et ce n'est pas pour rien, en effet, que les 35 pays partenaires d'Iter débourseront 20 milliards d'euros pour cette gigantesque expérience. Parallèlement, une multitude de travaux sont menés dans le monde pour domestiquer la fusion thermonucléaire, notamment par des start-up *(lire* S. et A. *n° 892)*.

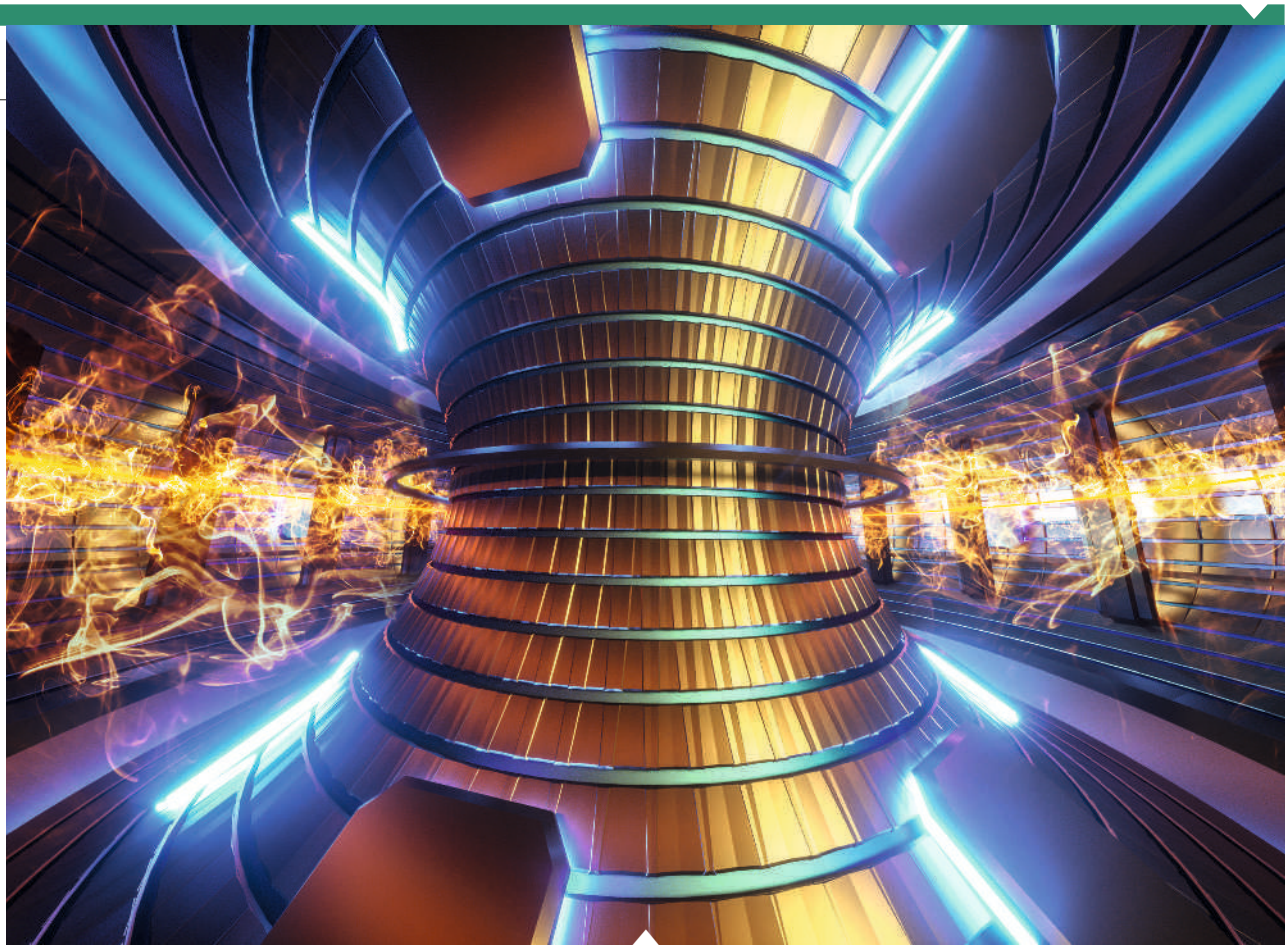
Car sur le papier, ce type de réaction possède de formidables avantages. En faisant fusionner des noyaux de deutérium et de tritium, deux isotopes de l'hydrogène (formés d'un proton mais aussi, respectivement, d'un et deux neutrons), elle libère quatre fois plus d'énergie que la fission de l'uranium à masse égale de combustible, et huit millions de fois plus que la combustion du pétrole. Elle ne présente pas de risque d'emballement ni de fonte des réacteurs, donc aucun danger d'accident semblable à celui qui s'est déroulé à Fukushima (Japon). Les combustibles sont présents en abondance dans la croûte terrestre ou les océans. Et le produit principal de la réaction, l'hélium, est un gaz inerte non toxique. Surtout, *« la fusion ne produit aucun déchet radioactif de haute activité à vie longue, contrairement aux filières nucléaires classiques »*, insiste Jérôme Bucalossi, directeur de l'Institut de recherche sur la fusion par confinement magnétique du CEA, à Saint-Paul-lez-Durance.

Mais cette technologie n'en est qu'à un stade expérimental. Dans Iter, qui vise à démontrer sa viabilité à grande échelle au sein d'un réacteur de 23 000 tonnes, les réactions les plus énergétiques ne seront produites qu'à partir de 2035. Des dizaines d'années seront ensuite nécessaires pour maîtriser la totalité des phénomènes (turbulences, extraction de l'énergie, etc.). Si elles voient le jour, les premières installations industrielles ne seront donc pas construites avant la seconde moitié du XXIe siècle. Quels types de déchets nucléaires seraient alors produits par de tels réacteurs ? Une première catégorie sera

RECHERCHE

Les espoirs en suspens de la transmutation

Transformer des radionucléides actifs pendant des centaines de milliers d'années en éléments stables ou à vie plus courte, c'est le principe de la transmutation. Une solution séduisante mais qui peine à voir le jour. L'idée est de faire absorber un neutron par le noyau d'un radionucléide pour provoquer une réaction de fission qui conduirait à la formation d'éléments moins radioactifs. Mais selon l'Institut de recherche sur la sûreté nucléaire (IRSN), le rendement de l'opération est faible. *« Dans l'état actuel des connaissances, la transmutation n'est pas une solution suffisante pour gérer les déchets à vie longue »*, tranche Igor Le Bars, directeur de l'expertise de sûreté à l'IRSN. Mais il reste un espoir : en 2019, le Français Gérard Mourou a proposé d'utiliser des lasers ultrapuissants — qui lui ont valu le Nobel de physique 2018 — pour traiter les déchets. Une piste qui nécessitera des décennies de recherche… Loïc Chauveau



SHUTTERSTOK

À l'intérieur d'une chambre à vide, les atomes d'hydrogène fusionnent, produisant une énergie colossale (vue d'artiste).

générée par des neutrons très énergétiques émis lors de la fusion des noyaux. Captées par les parois des réacteurs, ces particules y transformeraient certains atomes (cobalt, cuivre, nickel, tungstène…) en isotopes radioactifs. Un puissant blindage permettra néanmoins de contenir ce phénomène au premier mètre de l'enceinte. Les matériaux voués à devenir radioactifs seront essentiellement la chambre à vide, qui abritera les réactions de fusion, ainsi qu'un élément appelé « divertor », situé sur le plancher de la chambre à vide, qui permettra d'extraire notamment l'hélium. Dans Iter, ces deux éléments pèseront respectivement 5000 et 500 tonnes. Volumineux, ces déchets ne seront en revanche que très faiblement à moyennement radioactifs. Et leur « demi-vie » (la durée pour que la moitié de la radioactivité disparaisse) ne dépassera pas une dizaine d'années pour la plupart, au plus quelques décennies pour certains d'entre eux. *« Dans le cas d'Iter, la majorité des déchets sera stockée sur les sites de l'Andra* [l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs], *le reste entreposé près du réacteur jusqu'à ce que leur radioactivité baisse »*, indique Jérôme Bucalossi.

De nouvelles techniques de traitement du tritium à l'étude

Un deuxième type de déchets sera plus délicat à gérer. Il concerne le tritium, un élément peu radioactif mais très mobile, pouvant poser ainsi des problèmes de contamination. Très rare à l'état naturel, il sera produit par les réacteurs eux-mêmes en faisant réagir les neutrons avec du lithium. Or, parmi l'ensemble du tritium injecté dans la chambre à vide, seule une toute petite fraction fusionnera avec le deutérium. Le reste de ce gaz pénétrera dans les parois des réacteurs, surtout ses premiers centimètres. Pour Iter, ces déchets pèseront à la fin de l'expérience un peu moins de 500 tonnes. Ils devraient, là encore, être entreposés sur le site jusqu'à ce qu'ils deviennent inoffensifs, la demi-vie du tritium n'étant que de 12 ans. Des recherches sont en cours pour abaisser la quantité de tritium dans les déchets. Ainsi, des techniques de traitement encore à l'étude permettront d'en extraire et d'en recycler la majeure partie en les chauffant (à environ 1000 °C), voire en les fondant. *« Les recherches se concentrent aussi sur des barrières dites de perméation,* souligne Jérôme Bucalossi. *Composée d'un empilement de couches extrêmement fines, elles bloqueront le tritium et l'empêcheront de se mélanger à l'eau des systèmes de refroidissement et donc de la contaminer.* » Des enjeux au cœur de projets de recherche européens (TRANSAT et bientôt TITANS) pour anticiper au mieux la gestion des déchets d'Iter, qui commenceront à être produits en 2035. Car de celle-ci dépendront aussi les chances de réussite de la fusion à l'échelle industrielle. ■ **F. D.** @fdaninos

INTERSTELLAR LAB

Les modules ovoïdes Biopod, structures gonflables destinées à la production autonome de plantes dans l'espace (ici sur la Lune, vue d'artiste), sont assemblés dans un hangar d'Ivry-sur-Seine (Val-de-Marne).

Fermes spatiales

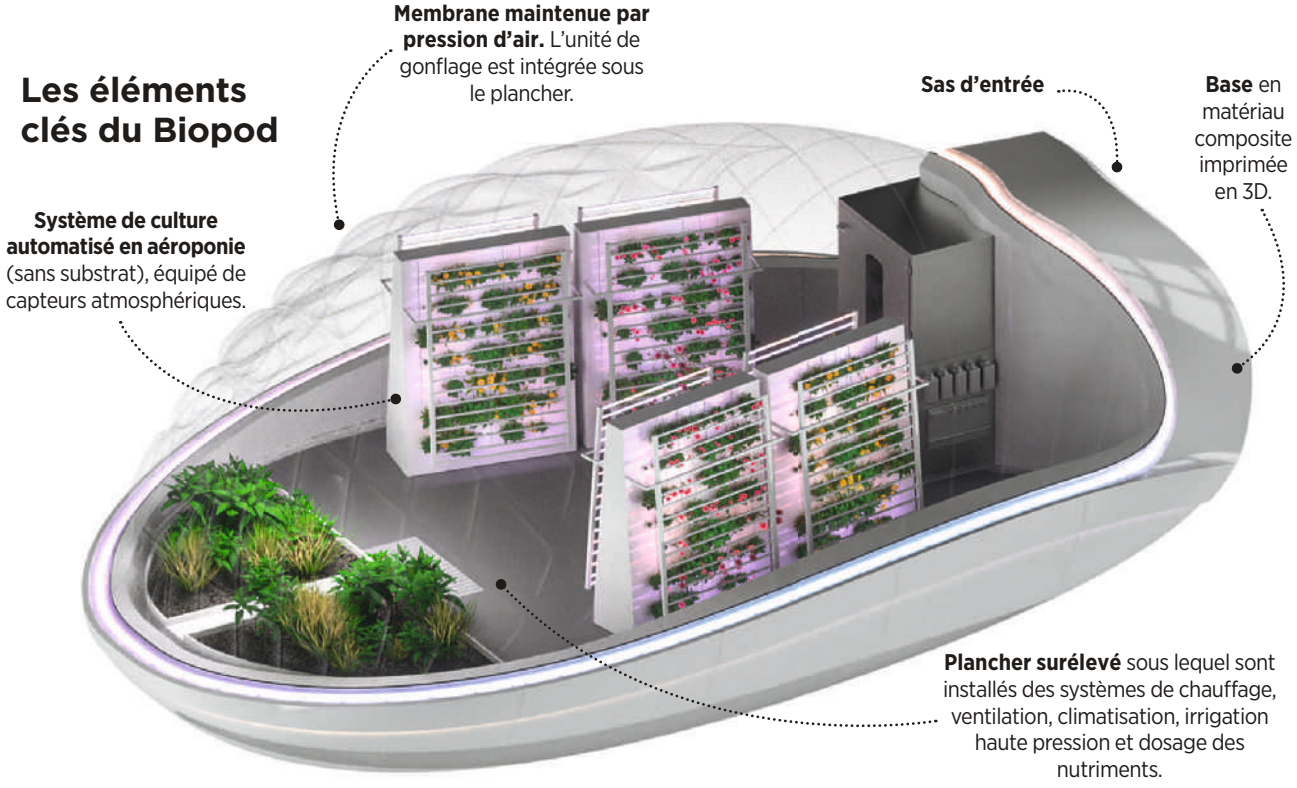
Les défis de l'agriculture extraterrestre

La production de plantes en environnement contrôlé est un enjeu essentiel pour les missions de longue durée dans l'espace et à plus long terme sur la Lune et Mars. Une start-up française s'est lancée dans l'aventure en concevant des biosphères autonomes, qui ont déjà trouvé des débouchés sur Terre. Reportage.

Par Sylvie Rouat @srouat1

Aux portes de Paris, la ville d'Ivry-sur-Seine (Val-de-Marne) retrouve son destin spatial, amorcé en 1963 par le cosmonaute soviétique Iouri Gagarine lorsqu'il y avait inauguré une vaste cité de briques rouges. À un kilomètre de là, un tout aussi vaste parc d'activités aligne ses entrepôts et bureaux flambant neufs. C'est ici que la jeune start-up Interstellar Lab a posé ses bagages en vue d'assembler d'ici à avril son premier Biopod, un module ovoïde tout droit sorti d'un film de science-fiction et destiné à la production de plantes sur la Lune et sur Mars.

Aux sources de l'aventure, il y a Barbara Belvisi, 36 ans. Après avoir travaillé dans le financement de jeunes pousses du *hardware* (conception de matériel informatique), elle prend en 2018 un nouveau virage, avec la volonté de « *résoudre les problèmes de la planète tels la gestion de l'eau ou la production alimentaire* », se remémore-t-elle. Elle assiste, à la même époque, au spectaculaire lancement de la fusée Falcon Heavy de l'entreprise américaine SpaceX et comprend « *que les vols humains vers la Lune et Mars sont désormais possibles* ». Les maux de la planète deviennent alors ceux des mondes extraterrestres…



INTERSTELLAR LAB

Septembre 2018 : pour concrétiser son projet, la jeune entrepreneuse s'envole pour les États-Unis en vue de rencontrer des ingénieurs de la Nasa et de SpaceX. De manière inattendue, elle trouve un soutien auprès de l'entreprise d'Elon Musk : celui-ci a eu en effet pour projet, au début des années 2000, de déposer sur Mars une serre autonome. Pour concrétiser cette idée, il avait à l'époque tenté de négocier une place sur un vol russe. Effaré par le prix exigé, Elon Musk avait alors décidé de fonder sa propre compagnie spatiale, SpaceX…
Désormais entourée d'ingénieurs et d'agronomes, Barbara Belvisi présente, en novembre 2020, son premier produit spatial, le Biopod, une structure étanche et autonome de 55 m^2 qui permet de recréer des conditions idéales pour la croissance des plantes. À sa grande surprise, elle reçoit d'emblée des demandes d'achat… pour des usages terrestres ! À ce jour, la start-up a engrangé des précommandes pour 70 clients, essentiellement issus de l'industrie pharmaceutique et cosmétique.
Dans les locaux d'Ivry-sur-Seine, les agronomes s'affairent dans les phytotrons, chambres de culture aveugles au sein desquelles les paramètres environnementaux (lumière, humidité, température, CO_2) sont contrôlés. Les jeunes pousses de vanille, ylang-ylang, vétiver, patchouli croissent en aéroponie, c'est-à-dire dans des bacs sans substrat, leurs racines apparentes étant régulièrement vaporisées d'un fin brouillard d'eau enrichie de substances organiques (azote, oligoéléments, etc.). Chacun des phytotrons explore les effets de différents spectres de lumière afin d'étudier comment ils gouvernent le développement des plantes. La lumière rouge, par exemple, produit des plantes plus hautes et touffues.

Climats et saisons reproduits en fonction des plantes

Dans la pièce voisine, l'ingénieur Jérémy Jauzion analyse les données transmises par les capteurs. *« À l'intérieur des phytotrons, la température est maintenue entre 25 et 26 °C*, décrit-il. *Le taux d'humidité oscille entre 72 et 76 % la journée, grâce à un déshumidificateur et un brumisateur. La nuit, les plantes ont*

EXPÉRIENCE

On a cultivé sur la Lune

En 2019, la sonde chinoise Chang'e 4 s'est posée sur la face cachée de la Lune avec à son bord une biosphère de 2,6 kg destinée à la croissance de plants de coton, colza, pommes de terre et arabette des dames, autant d'espèces ayant un délai de germination très court. Des miroirs focalisant les rayons solaires vers le mini-écosystème ont permis aux graines de coton de pousser. Las, la climatisation de l'expérience, qui devait la maintenir à 25 °C, est tombée en panne et la température a dégringolé à -52 °C, entraînant le gel de toutes les cultures.

PLENTY UNLIMITED INC

Les recherches initiées par la Nasa ont permis de développer des fermes verticales, comme celle de la société américaine Plenty, en Californie.

Le « Palais lunaire » expérimenté par les Chinois est un écosystème clos comprenant un espace de vie et deux modules de culture végétale.

CHINA DAILY VIA REUTERS

besoin de plus d'humidité, qui grimpe jusqu'à 95 % entre 2 heures et 8 heures du matin. » Ce système permet de reproduire différents climats et saisons en fonction des plantes à cultiver.

Le Biopod est gonflable, ce qui autorise un transport compact, notamment dans la coiffe d'une fusée. Sa partie déployable est composée de deux couches de film polymère séparées par une couche d'air isolante. Une légère surpression de l'air à l'intérieur du module maintient sa forme ovoïde. Les membranes transparentes, sortes de fenêtres sur l'Univers pour les futurs colons spatiaux, sont conçues pour absorber la chaleur des rayons infrarouges et arrêter les rayons ultraviolets oxydants. Une dizaine de dômes devraient sortir du hangar d'Ivry-sur-Seine cette année. « *Nous projetons d'accélérer ensuite la production pour arriver à assembler plus de 200 Biopods par an,* annonce Barbara Belvisi. *En 2023, nous allons ouvrir des usines d'assemblage aux États-Unis et en Europe* ». Au-delà, la start-up française prévoit d'envoyer dans la Station spatiale internationale (ISS) un système composé de plusieurs phytotrons de 60 cm de côté permettant de produire des légumes, des champignons et des insectes pour les astronautes. Baptisé Nucleus, ce système modulaire a été sélectionné en octobre 2021 par la Nasa pour une première phase de test dans le cadre du concours Deep Space Food Challenge. L'ISS abrite depuis déjà vingt ans des expériences de « jardinage ». Plusieurs systèmes de production de plantes se sont succédé en orbite, notamment l'actuel Veggie, de la Nasa. Laitues, radis, choux, riz, blé, piments font partie des diverses espèces cultivées par les astronautes. « *La production de plantes alimentaires pour l'espace est une donnée essentielle pour permettre de fournir des produits frais aux équipages lors de missions de longue durée,* explique Lucie Poulet, spécialiste de la croissance des plantes au centre spatial Kennedy de la Nasa, en Floride. *De la taille d'une valise, Veggie contient généralement six plantes destinées à l'étude de l'influence du CO_2, des températures et taux d'humidité sur la croissance des plantes, ou encore la mesure des effets des radiations sur les graines. Ces expériences permettent aussi de sélectionner les espèces et les cultivars et de tester des systèmes d'arrosage en gravité différente.* » La ventilation est également

LUCIE POULET

« Ces expériences permettent aussi de sélectionner les espèces et de tester des systèmes d'arrosage en gravité différente »

Lucie Poulet spécialiste de la croissance des plantes au centre spatial Kennedy de la Nasa, en Floride (États-Unis)

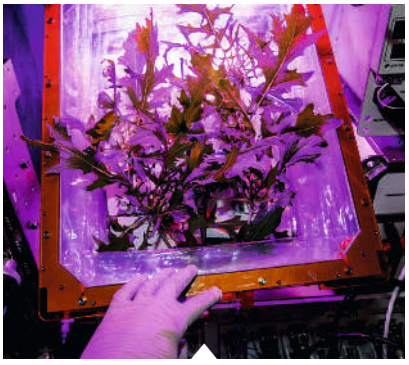
SUBSTRAT

Le sol martien devra être enrichi

Dans le film *Seul sur Mars* de Ridley Scott (2015), le héros survit en plantant des pommes de terre dans le régolite martien, auquel il incorpore ses fèces. De fait, explique Lucie Poulet, spécialiste des systèmes de croissance végétale à la Nasa, *« le régolite martien ne renferme aucune matière organique. Pour le cultiver, il faudra l'enrichir avec du compost. Par ailleurs, ce substrat contient des perchlorates et des métaux lourds, autant de substances toxiques à éliminer. Lors des premières missions sur Mars, il ne sera donc pas possible d'utiliser le sol pour se nourrir. »* Autre problème : la difficulté à répliquer la minéralogie des régolites lunaire et martien, qui limite les expériences. Mais cela n'a pas arrêté Andrew Palmer, chercheur à l'institut spatial Aldrin de Floride (États-Unis), qui récolte des tomates dans une serre imitant les conditions martiennes, mais en utilisant un substrat bien terrestre, prélevé dans le désert de Mojave en Californie. *« À la différence de l'hydroponie, qui permet avec très peu d'eau de réguler les apports nutritifs aux plantes, l'association régolite-compost est plus risquée,* note Lucie Poulet. *À partir de là, les développements microbiologiques incontrôlés dans des environnements clos pourraient mener à des catastrophes sanitaires au sein des bases lunaires ou martiennes… »*

un sujet d'étude, du fait de la moindre convection naturelle sur la Lune et sur Mars que sur Terre, ce qui pourrait compliquer les échanges gazeux. Une fois le CO_2 et l'eau absorbés dans la poche d'air stagnant autour de la plante, s'il n'y a pas de brassage d'air pour lui apporter de nouveaux flux, elle risque de péricliter. Mais des ventilateurs mal calibrés représentent aussi un gaspillage d'énergie. Tout est alors question de juste dosage, à déterminer en fonction de l'environnement extraterrestre.

Au-delà de la seule alimentation, l'utilisation de plantes dans un vaisseau spatial permet de recycler les déchets produits par l'équipage, comme l'expérimente le programme Melissa (Micro-Ecological Life Support Alternative) mené depuis plus de trente ans par l'ESA, l'agence spatiale européenne. Dégradées par des bactéries, les eaux usées nourrissent légumes et microalgues, formant ainsi un cycle fermé. *« Il existe à Barcelone, en Espagne, un démonstrateur de cette boucle biorégénérative, dans lequel les astronautes sont remplacés par des rats,* s'amuse Lucie Poulet. *La Chine, de son côté, a fait l'expérience directement avec des humains… et des vers de farine! »* Solennellement baptisé « Palais lunaire 1 » (Yuegong-1), ce démonstrateur de 160 m², situé à Pékin, est composé d'un espace de vie et de deux grands modules de cultures végétales. En 2017, huit étudiants de l'université de Beihang y ont séjourné successivement de trois à six mois pour assurer avec succès le voyage immobile d'un an de cet écosystème reposant sur l'alliance humain-animal-plante-micro-organisme.



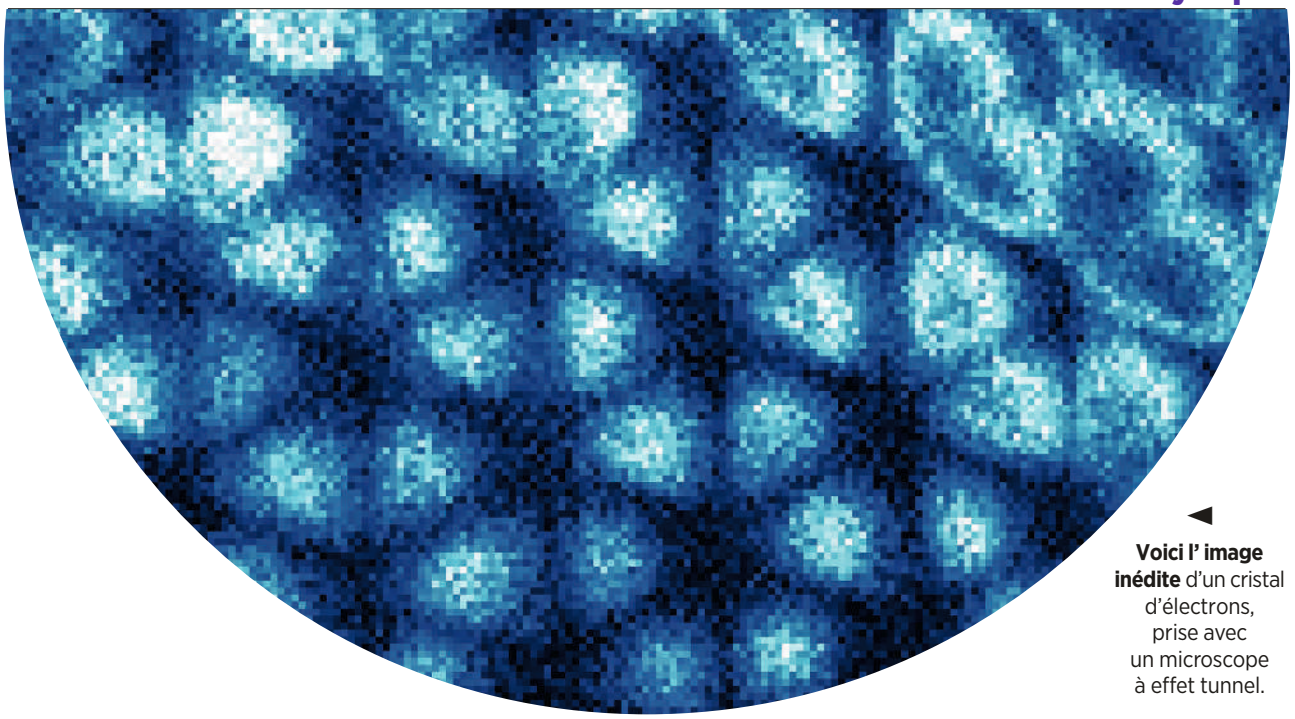
NASA

De la taille d'une valise, le système de production Veggie, de la Nasa, est testé dans la Station spatiale internationale.

Des débouchés sur Terre sans attendre les voyages spatiaux

Toutes ces expériences de boucles biorégénératives ont inspiré à Interstellar Lab l'ambitieux projet d'une station lunaire baptisée Ebios (Experimental Bioregenerative Station). Les Biopods sont raccordés à un module central et constituent, avec d'autres dômes de travail et d'habitation, une base de vie fonctionnant en circuit fermé : les eaux usées y sont là aussi recyclées avec les plantations, qui de leur côté transforment le CO_2 en oxygène. Un tel village doit être d'abord expérimenté dans le désert de Mojave, en Californie.

« Les premières expériences de cultures en vue de futurs voyages interplanétaires ont eu lieu en 1998 dans un module Mercury, transformé en ferme spatiale, raconte Lucie Poulet. *Cela a permis de faire croître des pommes de terre et des légumes verts dans un environnement clos, isolé et d'étudier la production d'oxygène. »* Le concept de ferme verticale a été mis en œuvre à grande échelle pour la première fois en 2012, avec l'ouverture d'une tour-ferme à Singapour. À Château-Thierry, dans l'Aisne, la société Jungle produit près de 400 000 plants de salade en déployant ses systèmes de croissance sur 10 mètres de hauteur. Avec une moindre emprise au sol, ces fermes industrielles pourraient être une solution pour répondre à la demande alimentaire de demain, tout en réduisant les distances entre les zones de production et de consommation. En attendant les voyages spatiaux, les recherches qui leur sont consacrées ont déjà trouvé leurs débouchés ici et maintenant! ■



Voici l' image inédite d'un cristal d'électrons, prise avec un microscope à effet tunnel.

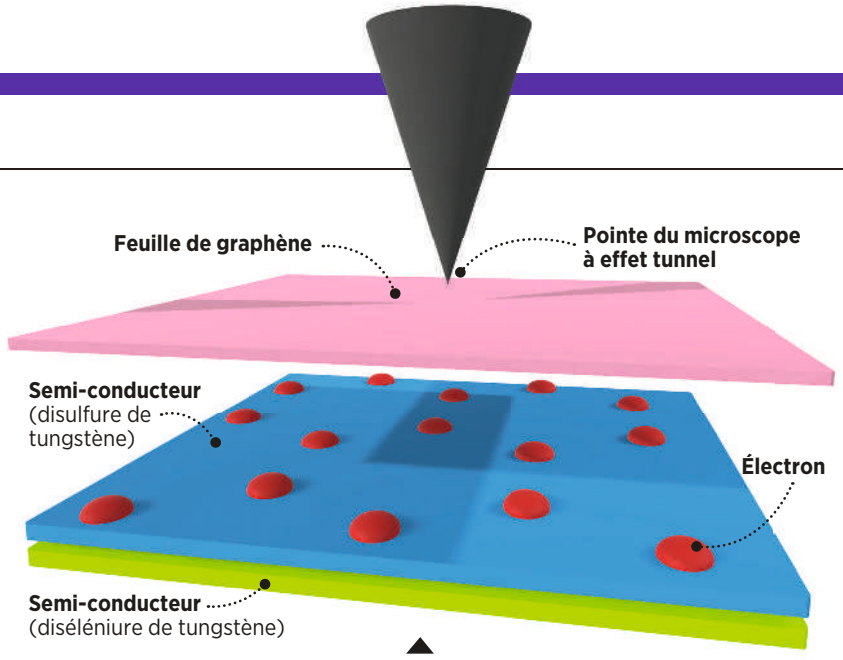
Le cristal d'électrons : un rêve de physicien devenu réalité

Pour la première fois, des chercheurs sont parvenus à dompter la frénésie de ces particules infinitésimales et à les observer dans un état organisé prédit il y a près d'un siècle : le cristal d'électrons. Un exploit.

Environ 100 kilomètres par seconde ! C'est à cette vitesse faramineuse que les électrons se propagent dans des métaux comme le cuivre, transportant ainsi l'électricité. Mais ces particules infinitésimales, de charge électrique négative, peuvent sous certaines conditions s'immobiliser et interagir pour former des cristaux parfaitement ordonnés, comme dans un diamant ou un flocon de neige. Imaginée il y a près d'un siècle par le physicien hongrois Eugene Wigner, cette « glace d'électrons » n'avait encore jamais pu être observée de manière directe. C'est désormais chose faite grâce à l'ingéniosité des expérimentateurs et une nouvelle famille de matériaux extrêmement fins. « *La cristallisation des électrons est à présent très nette,* s'émerveille Mark-Oliver Goerbig, physicien théoricien au CNRS et à l'université Paris-Saclay. *On visualise même la géométrie de ces infimes structures !* »

La genèse de ces travaux remonte aux années 1930, peu après la naissance de la mécanique quantique qui mit en évi-

HONGYUAN LI AND SHAOWEI LI, NATURE 2021



Formé entre deux couches de semi-conducteurs et protégé par une feuille de graphène, le cristal d'électrons a pu être visualisé sous la pointe d'un microscope à effet tunnel.

UC BERKELEY GRAPHIC COURTESY OF FENG WANG'S LAB

dence les propriétés des particules atomiques et subatomiques. Eugene Wigner cherchait à répondre alors à la question suivante : à l'instar des atomes qui, en refroidissant, passent d'un état gazeux ou liquide à une forme solide, les électrons pourraient-ils cristalliser ? *« Les motivations d'Eugene Wigner étaient purement théoriques,* rappelle Emmanuel Trizac, du Laboratoire de physique théorique et modèles statistiques à Orsay (Essonne). *Il souhaitait mieux comprendre les interactions entre électrons dans les métaux. Et fit à cet égard de surprenantes découvertes.* » Il comprit ainsi que les électrons étaient soumis à deux types de phénomènes : les interactions dites coulombiennes *(voir le lexique ci-dessous)*, qui repoussent deux particules de même charge ; et le mouvement intrinsèque des électrons, mus à la fois par l'agitation thermique et des fluctuations de nature purement quantique.

Même au zéro absolu, les électrons bougent

« Or l'intensité de ces fluctuations est inversement proportionnelle à la masse des particules », précise Emmanuel Trizac. Elles sont donc relativement faibles pour de « gros » objets comme des atomes ou des molécules : il suffit d'abaisser la température pour réduire le mouvement de ces objets qui peuvent alors interagir et se solidifier. Mais il en va tout autrement pour les électrons qui sont des milliers de fois plus légers et ne pèsent… qu'un millième de milliardième de milliardième de milliardième de gramme ! *« Même au zéro absolu, soit -273,15 °C, ils continuent d'être ballottés par les fluctuations quantiques et de se déplacer à très grande vitesse,* souligne Mark-Oliver Goerbig. *Les électrons se comportent ainsi en permanence comme un fluide, ce qui leur permet de conduire l'électricité.* »

Wigner découvrit un moyen de dompter cette frénésie. Par le calcul, il comprit que si les électrons étaient confinés dans un petit espace et que leur densité était réduite en deçà d'un certain seuil, les interactions coulombiennes prendraient le pas sur les fluctuations quantiques. Cherchant à se repousser, les électrons « sentiraient » alors la présence de leurs congénères. Et pour minimiser l'énergie du système, ils se positionneraient à une certaine distance les uns des autres et formeraient spontanément une structure régulière… Un cristal, autrement dit ! Du moins en théorie. Car les conditions envisagées par Eugene Wigner seront très difficiles à mettre en pratique, *« tant sur la pureté des milieux où les électrons devaient être confinés que sur les très faibles densités à atteindre* », détaille Mark-Oliver Goerbig.

Plusieurs dizaines d'années seront ainsi nécessaires avant d'obtenir des preuves expérimentales. Elles ont été fournies à partir des années 1980, par des chercheurs des laboratoires Bell (États-Unis) et du Centre d'études nucléaires du CEA à Saclay (Essonne) en particulier. Ils ont confiné un nuage d'électrons entre deux semi-conducteurs (arséniure de gallium) avant d'appliquer un très fort champ magnétique. Sous l'effet de ce champ, les électrons se sont tous retrouvés dans le même état énergétique, le plus bas possible. Résultat : les fluctuations quantiques ont été comme « gelées », permettant aux électrons de s'organiser en réseau. Mais les configurations créées avec de puissants champs magnétiques ne correspondaient pas réellement à la situation décrite par Eugene Wigner. Sans compter qu'aucune technique ne permettait de sonder ces prétendus cristaux coincés entre deux semi-conducteurs. Les indices étaient ainsi très indirects, comme le passage d'un état conducteur à isolant. Figés dans un cristal, les électrons ne pouvaient certes plus propager le courant. Mais *« si cette condition était néces-*

INTERACTION COULOMBIENNE Force ressentie entre deux charges électriques proportionnelle au produit des deux charges et inversement proportionnelle au carré de la distance.

GRAPHÈNE Isolé en 2004, le graphène est un feuillet de carbone bidimensionnel qui, en s'empilant, forme le graphite des mines de crayon.

MICROSCOPE À EFFET TUNNEL Appareil permettant de sonder des surfaces conductrices avec une précision égale ou inférieure à la taille des atomes en y faisant « sauter » des électrons depuis une pointe métallique.

saire, elle n'était pas suffisante, note Mark-Olivier Goerbig. *D'autres phénomènes pouvaient expliquer l'état isolant, comme la présence d'impuretés piégeant les électrons.* »
Au milieu des années 2000, la découverte des matériaux bidimensionnels va changer complètement la donne. À l'instar du graphène composé de carbone, leur épaisseur correspond à celle d'un atome ou de quelques atomes tout au plus. « *Ces feuillets extrêmement fins permettent de contrôler et mesurer très précisément la densité d'électrons. On les synthétise désormais avec une pureté exceptionnelle* », signale Mark-Olivier Goerbig. Et c'est avec ce type de feuillets que des progrès spectaculaires viennent d'être réalisés dans la mise en évidence des cristaux de Wigner.

Des cristaux dévoilés grâce à une feuille de graphène

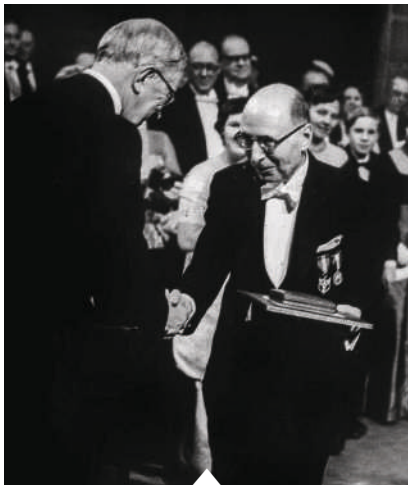
Les premières démonstrations ont été apportées en juin 2021 par deux équipes indépendantes — l'une de l'Institut d'électronique quantique de Zurich, en Suisse, l'autre de l'université Harvard, aux États-Unis. Elles ont utilisé un feuillet de diséléniure de molybdène (un semi-conducteur) pris entre deux composés isolants. La température a été réduite à quelques degrés au-dessus du zéro absolu. Et des électrodes en graphène ont réglé très précisément la densité d'électrons. Bingo ! Car en éclairant le semi-conducteur avec un laser et en analysant les rayonnements réfléchis, les chercheurs ont pu établir que des cristaux d'électrons s'étaient bien formés sur une couche bidimensionnelle, juste au-dessus. Les données spectroscopiques montrent clairement, en effet, que les électrons se sont organisés en réseau hexagonal, espacés chacun d'une vingtaine de milliardièmes de mètre. En augmentant la densité d'électrons ou la température, les scientifiques ont même pu suivre leur « liquéfaction », tel un morceau de glace fondant au soleil. Trois mois plus tard, des physiciens de l'université de Californie à Berkeley (États-Unis) ont exploité eux aussi des matériaux bidimensionnels pour former des cristaux de Wigner qu'ils ont pu sonder, cette fois, électron par électron ! Le dispositif était sensiblement le même, mais il a été recouvert d'une feuille de graphène. Elle a permis d'approcher la pointe d'un microscope à effet tunnel et de mesurer d'infimes courants sans détruire les cristaux. Grâce à cet appareillage, la position de chaque électron a pu être déterminée sur le réseau hexagonal, « *dévoilant ainsi les toutes premières images de ces fascinantes structures* », se réjouit Michael Crommie, un des auteurs de l'étude. Et apportant ainsi une réponse définitive à l'interrogation d'Eugene Wigner. ■

Franck Daninos @fdaninos

TECHNOLOGIES

Électronique, supraconducteurs, stockage : les applications se précisent

Les recherches sur les cristaux d'électrons pourraient donner lieu à des applications en électronique notamment. Pour y parvenir, les physiciens devront étudier leurs caractéristiques précises, et « *savoir en particulier s'ils se comportent comme des cristaux ordinaires : présence de défauts, effets des vibrations, propriétés magnétiques, etc.* », note Mark-Oliver Goerbig, physicien au CNRS et à l'université Paris-Saclay. Autre objectif : répertorier les différentes mailles cristallines possibles. Outre le réseau hexagonal récemment observé, les théoriciens présument qu'il pourrait en exister des dizaines (carré, orthorhombique…) en fonction des surfaces utilisées. « *Or les configurations les plus stables pourraient se révéler très utiles pour coder et stocker des informations* », estime Emmanuel Trizac du Laboratoire de physique théorique et modèles statistiques, à Orsay. De manière plus générale, les cristaux de Wigner permettront de mieux comprendre les systèmes où les électrons interagissent. Les physiciens savent les décrire quand les interactions sont quasi nulles ou très fortes. « *Mais le problème est effroyablement compliqué lorsque les électrons sont à la fois libres et en interaction,* relève Mark-Oliver Goerbig. *Comme dans les matériaux supraconducteurs composés d'oxydes métalliques par exemple, qu'on utilise dans des appareils d'IRM mais dont les mécanismes restent mystérieux.* »



RUE DES ARCHIVES

Eugene Wigner a imaginé le cristal d'électrons dès 1934 (ici en 1963, recevant le prix Nobel de physique).

EMMANUEL BACRY
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE DU HEALTH DATA HUB

« Les bases de données santé vont transformer la recherche »

Expert en intelligence artificielle et en datascience, Emmanuel Bacry détaille le projet de Health Data Hub, un puissant et controversé outil numérique d'analyse des données de santé destiné à la communauté scientifique.

Ambitieux projet français destiné à la recherche médicale, le Health Data Hub est en suspens. Sa demande d'autorisation à la Commission nationale de l'informatique et des Libertés (Cnil) a été retirée. Elle devait permettre de mettre à disposition de la communauté scientifique, de façon pérenne, diverses bases de données de santé. Retour sur une initiative unique au monde, mais source de controverses, avec son directeur scientifique.

L'idée de créer le Health Data Hub est issue du rapport Villani sur l'intelligence artificielle publié en 2019. Comment est-elle née ?
On peut lier son émergence à un décret de décembre 2016 qui a ouvert aux chercheurs le Système national de données de santé (SNDS) sur le portail Internet de la Caisse nationale de l'assurance-maladie (Cnam). Ce système est la base de la carte Vitale. Il conserve les parcours de soins et les causes médicales de décès. Et s'il ne donne pas accès à des données cliniques, il garde la trace des remboursements par l'Assurance-maladie. Or, nous avons cette chance, en France, que presque tout le monde profite de ces remboursements, au moins partiellement. Le SNDS représente donc une mine d'informations sur les soins de l'ensemble des Français. Une base de données qui potentiellement est d'une très grande utilité. C'est dessus que s'est construit le Health Data Hub.

XAVIER GRANET

BIO EXPRESS

- **1965** Naissance à Chêne-Bougeries (Suisse).
- **1985-1990** Élève à l'École normale supérieure (Ulm).
- **1993** Chercheur au CNRS (École polytechnique puis université de Paris-Dauphine PSL).
- **2014-2019** Responsable de l'initiative IA & Big Data à l'École polytechnique.
- **2016** Directeur de recherche.
- **2019** Directeur scientifique du Health Data Hub.

En quoi cette plateforme de données est-elle plus puissante qu'un simple accès au portail de la Cnam ?
Le portail de la Cnam ne permet pas de faire de la recherche méthodologique, avec de l'intelligence artificielle par exemple, car il ne propose pas les outils nécessaires pour cela. Au contraire du Health Data Hub. De plus, celui-ci permet de pallier l'absence de données cliniques en donnant l'accès à d'autres bases de données santé, par exemple des bases cliniques d'imagerie. Ainsi, il est possible de reconstituer tout un parcours hospitalier, avec les soins et les traitements.

GARO/PHANIE

Le Health Data Hub donnerait accès aux informations de l'Assurance-maladie (carte Vitale), ainsi qu'à d'autres données (hôpitaux, imagerie…).

Toutes les bases médicales sont-elles vouées à se retrouver sur le Health Data Hub ?
Non, nous n'avons pas pour ambition d'être la plateforme où toutes les données seraient rapatriées. Ce serait une aberration à tout point de vue. Quand un projet de recherche nécessite d'accéder aux données d'un centre hospitalier universitaire en particulier, tout peut avoir lieu sur sa plateforme. Nous n'hébergeons les projets que si les données ont besoin d'être liées à celles du Hub ou que la puissance de calcul nécessaire est très importante.

Certains experts en informatique médicale ne plaident-ils pas néanmoins pour toujours laisser les données dans chaque hôpital et faire circuler le calcul ?
C'est ce que l'on appelle le calcul fédéré. Les données ne bougent pas, c'est l'algorithme qui bouge. Nous étudions la question et avons répondu à un appel à projet européen pour que le Health Data Hub serve de nœud dans un réseau de calcul fédéré à l'échelle européenne. Mais ces techniques restent du domaine de la recherche. Rien ne dit qu'elles représentent le modèle optimal.

Que signifie le retrait en décembre 2021, par le Health Data Hub, de sa demande d'autorisation à la Cnil ?
Notre objectif, depuis le début, est d'avoir des bases de données pérennes dans le Hub, indépendamment des projets. En juin 2021, un décret officialisait la capacité de traitement du SNDS par le Health Data Hub et un arrêté devait ajouter une liste d'autres bases. Nous avons déposé une demande à la Cnil, pensant que cet arrêté serait publié pendant l'instruction, ce qui n'a pas été le cas. Nous avons donc retiré la demande en attendant l'arrêté et nous continuons à travailler comme nous l'avons fait jusqu'à présent, avec des autorisations au cas par cas pour récupérer les bases concernées.

Si cette demande aboutit, quelles recherches inédites permettra-t-il ?
Actuellement, nous suivons 55 projets. Certains ont eu l'autorisation de la Cnil, d'autres pas encore, certains opèrent déjà, d'autres en sont à la signature de leur convention avec le Hub… Par exemple, le centre Léon-Bérard à Lyon, spécialisé dans la lutte contre le cancer, va lancer une étude concernant le sarcome. Nous allons associer leurs données à celles du SNDS afin d'identifier les traitements les plus adaptés pour les patients touchés par ce type de cancer rare, dont la moitié, en France, ne répondent pas aux traitements standards. C'est une analyse de ce que l'on appelle les données de vie réelle, concernant des gens qui ont été vraiment soignés, données qui sont primordiales pour la recherche. Elles ne viennent pas d'essais cliniques.
De même, si l'on avait pu remonter plus rapidement celles du SNDS, on aurait vu très vite que les gens soignés à l'hydroxychloroquine, pour autre chose que le Covid-19, ne développaient pas moins de formes graves du Sras-CoV-2 que les autres. ■

Propos recueillis par Arnaud Devillard
@A_devila

AARE UDRAS/NATURE PHOTOGRAPHER OF THE YEAR 2021

Disparu du territoire national depuis les années 1930, le loup — une espèce protégée — reprend du terrain depuis trente ans, avec 624 individus recensés en France en 2021. Un bouleversement énorme pour les éleveurs qui cherchent à préserver leurs troupeaux.

Le loup en France

Mieux le comprendre pour mieux vivre avec lui

Des chercheurs ont installé des caméras infrarouges et des balises GPS afin d'analyser le comportement du loup. Objectif : se « mettre dans la tête » de ce prédateur méconnu pour expliquer les stratégies d'attaque contre certains troupeaux. Reportage dans le massif des Bauges, en Savoie.

Par Loïc Chauveau @Loic_chauveau

« *Ce que change l'arrivée du loup ? Tout !* » Et Philippe Gamen d'énumérer ce que l'apparition du prédateur a modifié au sein du parc naturel régional du massif des Bauges (Savoie), qu'il préside en tant que maire de la commune du Noyer : « *La fin des petits troupeaux de moins de 30 chèvres ou moutons trop exposés car impossibles à surveiller et qui étaient pourtant bien utiles pour débroussailler les terrains abandonnés ; les parcages électrifiés dans les alpages ; l'arrivée des chiens de défense qui agressent les randonneurs l'été et aboient dans les villages l'hiver ; et surtout, la détresse des éleveurs qui n'ont pas beaucoup de solutions contre les attaques sur leurs troupeaux.* » Économique comme sociologique, le bouleversement provoqué par un prédateur que les Savoyards n'imaginaient pas revoir un jour est énorme. Et il pourrait bien affecter la France entière au cours des prochaines années.

Il y a pile trente ans, *Canis lupus italicus* est signalé dans le parc du Mercantour, dans les Hautes-Alpes, à la frontière avec l'Italie, alors qu'on ne l'avait plus repéré en France depuis les années 1930. Son mode de reconquête est très efficace. L'organisation en meute impose que seul le couple dominant puisse se reproduire. Pour les jeunes, pas d'autre solution que de sortir du cocon familial pour fonder leur propre

clan. Le record de déplacement le plus long connu est détenu par un louveteau allemand qui a parcouru pas moins de 1550 kilomètres pour se retrouver en Biélorussie. C'est que le loup n'est pas inféodé à un milieu particulier.
Dans le nord de l'Espagne où il s'est toujours maintenu, il vit dans les plaines agricoles. Pas étonnant donc que l'on en retrouve aujourd'hui dans l'Hexagone jusque dans les départements du littoral atlantique. « *Les "disperseurs" montrent de façon spectaculaire combien le paysage français a changé,* note Gilles Rayé, biologiste et fondateur de l'association Rewilding France. *Carnivore, le loup profite de la démographie galopante des cerfs, chevreuils, sangliers dont il se nourrit dans les zones boisées qui gagnent sur les terres agricoles pauvres abandonnées depuis la première moitié du XX^e siècle.* »
En 2021, ils ont même été repérés en Charente ou en Normandie, preuve que l'espèce peut trouver à se nourrir partout en France, y compris d'animaux domestiques. Mais ces individus isolés ont néanmoins peu de chance de rencontrer un partenaire pour fonder une meute. S'ils ne sont pas tués, ils vont vraisemblablement revenir vers leur lieu de naissance pour optimiser les opportunités de rencontre avec le sexe opposé. « *L'extension de l'espèce se fait par sauts de 10 à 15 kilomètres,* explique Gilles Rayé. *On estime ainsi qu'en France, au vu de la densité d'ongulés disponibles pour se nourrir, une meute couvre 150 km². Un clan nouveau se formera toujours au-delà de ces limites.* » C'est ainsi que le loup est arrivé dans les Bauges.
Ce massif de moyenne montagne est classé en « zone de présence permanente » depuis l'été 2021. Selon l'Office français de la biodiversité (OFB), ce sont

CHASSE

Des « tirs de prélèvement » pour protéger les troupeaux les plus exposés

20 % des propriétaires d'ovins concentrent l'essentiel des attaques (pour les autres, la perte ne dépasse pas trois à quatre animaux par an). Aussi, l'État autorise pour leur sauvegarde des « tirs de prélèvement ». Or, le loup étant protégé, ces abattages ne doivent pas mettre en péril la viabilité de l'espèce. Il revient ainsi aux modélisateurs spécialistes de la démographie animale de calculer le nombre d'individus pouvant être tués dans l'année. Pour 2022, les autorisations de tir portent sur 118 loups, soit 19 % des 624 loups recensés. Mais cette méthode est critiquée par les scientifiques. Selon un rapport du Muséum national d'histoire naturelle de 2017, l'abattage d'un loup dominant provoque l'éclatement de sa meute et la dispersion des membres, favorisant au contraire la diffusion de l'espèce.

RECENSEMENT

Comment on compte les loups

À la fin de l'hiver 2020-2021, la France comptait 624 loups (14 000 dans toute l'Europe). Mais la marge d'erreur est importante : ils seraient entre 414 (selon l'estimation la plus basse) et 834 (pour la plus haute). Pour réduire cet intervalle dû à la difficulté de dénombrer une espèce sur des millions d'hectares, l'Office français de la biodiversité (OFB) anime un réseau de 3000 professionnels et bénévoles formés à l'interprétation des signes de présence. Lorsqu'un loup est signalé avec des indices probants (photos, prédation), ils se déplacent à la recherche de crottes ou de poils permettant une reconnaissance par empreinte génétique.
La technique de la « capture-marquage-recapture » permet d'attribuer une signature génétique à un spécimen retrouvé grâce à ses excréments qui, récupérés à divers endroits, reconstitue ses déplacements. Dans les zones de présence permanente, les pièges photographiques et les hurlements provoqués attestent de la constitution de meutes. Environ 2000 indices sont ainsi récupérés tous les ans. Chacun fait l'objet d'un diagnostic consigné dans une fiche standardisée transmise à l'OFB.
L'organisation française est considérée comme l'une des meilleures au monde. Tous les cinq ans, elle fournit à l'Agence européenne de l'environnement un état de conservation de l'espèce le plus précis possible.

Sang, excréments, poils… Environ 2000 indices biologiques de l'animal sont récupérés tous les ans en France par l'OFB.

T. CHEVRIER - ONF - ONCFS

une, peut-être deux meutes — comprenant au moins huit adultes et quatre ou cinq petits — qui se sont durablement installées. Cela se voit notamment au nombre d'attaques. « *J'ai eu une génisse qui s'est coincée entre deux arbres en s'enfuyant et que les loups ont pu tranquillement dévorer toute une nuit* », témoigne, dépité, Cédric Laboret, éleveur laitier et président de la chambre d'agriculture de Savoie Mont-Blanc. Le département a comptabilisé 486 attaques en 2021, qui ont fait pour victimes 760 caprins, 887 ovins, 102 bovins et trois chevaux (pour 4000 constats sur l'ensemble de la France, principalement dans les Alpes). « *Ce n'est pas seulement l'élevage de moutons qui est concerné ici, c'est aussi la production de tome au lait cru de vache d'appellation contrôlée, d'une valeur économique bien supérieure* », souligne Philippe Gamen.

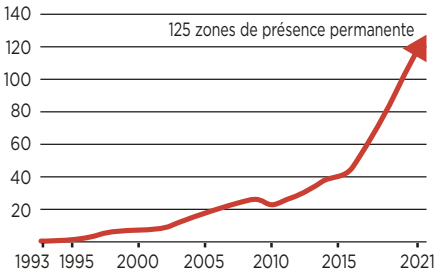
Comprendre la mentalité de l'animal sauvage

Mais les Bauges ont aussi cette chance de pouvoir bénéficier de l'expérience des régions alpines qui ont connu les premières recolonisations. Les éleveurs sont les interlocuteurs privilégiés pour recevoir les conseils des organismes techniques des filières d'élevage ou de programmes européens tels que EuroLarge Carnivore, piloté par le WWF France. Sa coordinatrice Béatrice Jouenne raconte : « *Nous diffusons les meilleures pratiques développées pour réduire les prédations partout en Europe.* » À commencer par l'utilisation de chiens de défense et le regroupement des troupeaux le soir dans des parcs électrifiés. Mais il s'agit aussi de comprendre la mentalité de l'animal sauvage. « *Nous partageons les dernières connaissances sur le comportement du loup face aux troupeaux* », poursuit la spécialiste. C'est qu'aujourd'hui, éleveurs, techniciens, scientifiques n'ont plus l'expérience que procure le contact quotidien avec l'animal.

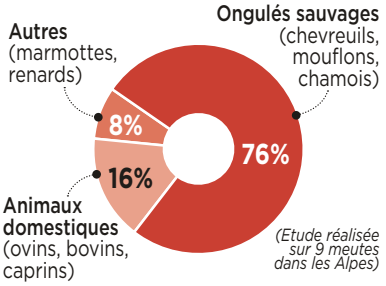
C'est en faisant ce constat que l'Institut pour la promotion et la recherche sur les animaux de protection (Ipra) a lancé au ▶

« CANIS LUPUS » EN FRANCE

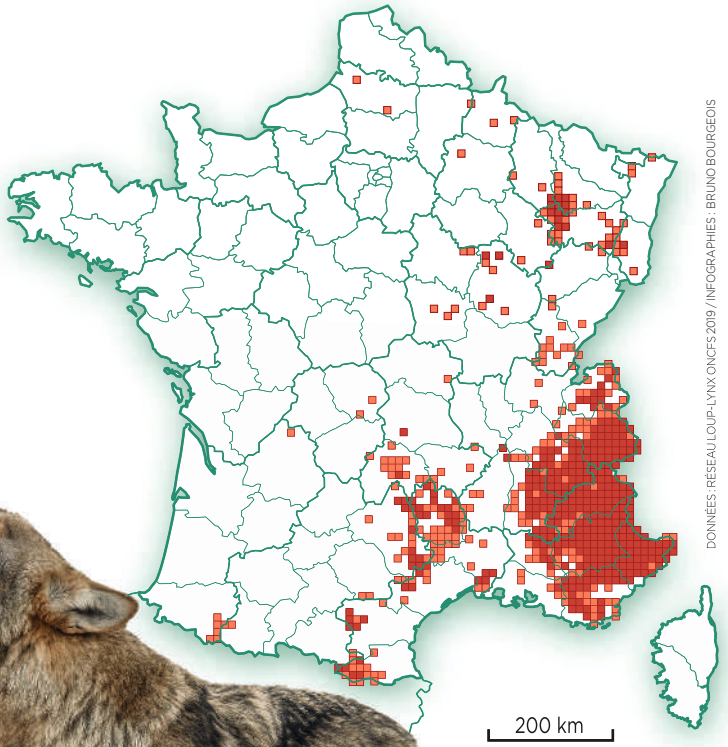
Une reconquête rapide du territoire



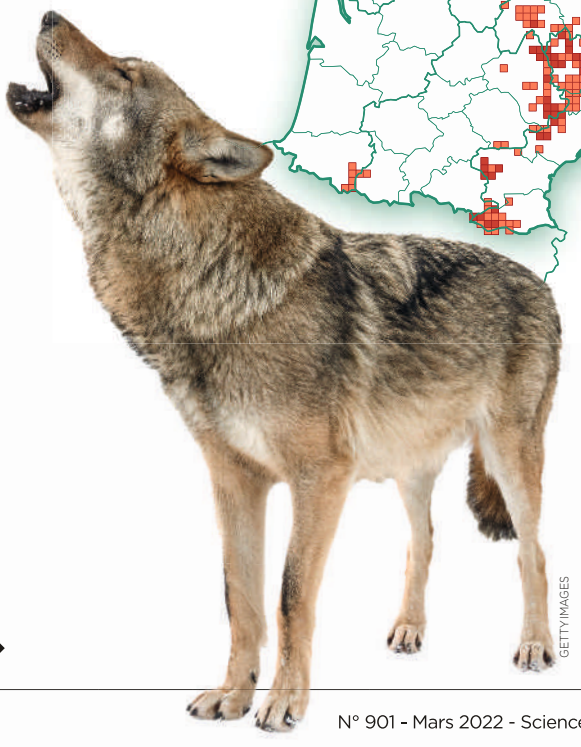
Après un premier signalement il y a trente ans, le loup a vite gagné du terrain, avec 125 zones de présence permanente en 2021.



Le carnivore se nourrit essentiellement d'animaux sauvages, les ongulés domestiques venant loin derrière.



DONNÉES : RÉSEAU LOUP-LYNX ONCFS 2019 / INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS



GETTY IMAGES

Principalement installé dans les Alpes, le loup se déplace rapidement dans d'autres régions pour se nourrir, profitant de la recrudescence du gibier.

début des années 2010 le projet d'étude CanOvis. *« Nous ne savions presque rien du déroulement précis des attaques de loups sur les animaux domestiques et de leurs réponses face aux mesures de protection,* concède Jean-Luc Borelli, biologiste et cofondateur du projet avec son collègue Jean-Marc Landry. *Comment attaque-t-il ? Comment réagit-il devant les clôtures électriques et les chiens ? Pourquoi s'acharne-t-il sur plusieurs animaux à la fois ? Nous ne pouvions pas nous appuyer uniquement sur les études comportementales menées en Amérique du Nord sur la même espèce certes, mais vivant sur de grands espaces peu habités et avec beaucoup moins de troupeaux domestiques.* » L'ambition du projet d'étude : renverser la logique. *« La protection du bétail a toujours été pensée du point de vue de l'humain, jamais de celui du prédateur. Le loup est le facteur majeur et pourtant, c'est le moins étudié* », estime Jean-Luc Borelli.

PHILIPPE MASSIT / OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ

Les informations recueillies grâce aux caméras à infrarouge permettent notamment de mieux cerner les déplacements des loups et leurs comportements de chasse.

Des comportements plus surprenants que prévu

L'Ipra a pu déployer deux caméras à infrarouge offrant des images nocturnes de qualité, jusqu'à 700 mètres de distance. Le dispositif a été doublé de caméras automatiques de suivi, tandis que des brebis et des chiens de protection ont été équipés de GPS afin de reconstituer leurs déplacements. Les planques — et les nuits blanches — se sont déroulées autour de 11 alpages particulièrement soumis à la pression du canidé dans le Mercantour, le plateau de Canjuers et le Haut-Buech. Et les surprises se sont accumulées. La première : dans plus de la moitié des vidéos nocturnes, les loups ne cherchent pas à s'approcher des enclos dans lesquels sont rassemblés les animaux pour la nuit. *« On a pu voir nombre de loups passer à proximité des troupeaux sans s'y intéresser* », narre Jean-Luc Borelli.

Mais c'est affaire de circonstances. Après avoir traversé un troupeau, le même loup est revenu quelques minutes plus tard… pour tuer une brebis. Un autre, qui en début de nuit avait traversé l'alpage complètement indifférent, l'a retraversé vers 2 heures du matin en faisant des victimes. *« Il est possible que celui-ci ait raté sa chasse aux animaux sauvages* », suppute Jean-Luc Borelli. Lorsque les loups « viennent aux brebis », le succès n'est cependant pas toujours certain. Un cinquième seulement des approches observées a débouché sur une capture. Les chercheurs notent que les interactions entre le prédateur et les troupeaux dépendent de la saison, de la météo ou encore du contexte pastoral. En 2017, la sécheresse sur le plateau de Canjuers a, par exemple, obligé les bergers à modifier les parcours de leurs troupeaux, les rapprochant ainsi des loups, ce qui les a rendus plus vulnérables à la prédation.

Les chercheurs ont pu également détailler l'efficacité des chiens de défense. Des affrontements ont été filmés, conduisant parfois à la fuite du prédateur. Ils ont observé que, souvent, les aboiements suffisent. Mais les attaques en meute peuvent aussi conduire à de vraies bagarres. Un chien en poste dans le Mercantour a été flashé à une vitesse record de 45 km/h en pleine

DRESSAGE

Les chiens de défense manquent d'éducation

BIOSPHOTO

Berger des Pyrénées (patou), berger d'Anatolie, Cão de Gado Transmontano sont des races de chien de défense qui, de façon innée, protègent les troupeaux. Ce qui ne les exempte pas d'être éduqués. *« Or, trop souvent, de jeunes chiens ont été inclus dans les troupeaux sans avoir été dressés »*, regrette Camille Fraissard, éthologue de l'association Vulgarisations et initiatives en éthologie (VIE), qui étudie le comportement canin et conseille les éleveurs. De son côté, l'Institut de l'élevage a développé un réseau de techniciens sur l'usage des chiens. Un encadrement qui arrive avec 25 ans de retard. Aucun registre généalogique atteste du pédigrée des animaux et personne ne sait combien de chiens de défense sont en activité dans les alpages.

poursuite des agresseurs. Autre sujet d'étonnement : l'attitude du loup face à la clôture. *« On a pu voir de grandes différences de comportement selon les individus, avec toute une variation entre le loup timide et l'audacieux »*, note Jean-Luc Borelli.
Même s'ils en ont tous la capacité physique, certains loups semblent avoir « psychologiquement » du mal à franchir les filets. D'autres en revanche n'hésitent pas à le faire même en présence des patous. *« Nous avons eu deux cas où une brebis était capturée dans l'enclos par un loup puis emmenée à l'extérieur pour être "partagée" avec un congénère moins entreprenant »*, poursuit Jean-Luc Borelli. Il est probable que certains individus transmettent leur expérience, apprenant ainsi aux membres de leur clan leurs techniques pour contourner les obstacles. Cette « culture lupine » de diffusion des meilleures pratiques de prédation n'est évidemment pas une bonne nouvelle pour les bergers.

Mieux ajuster les stratégies de protection

Les chercheurs ont aussi cherché à comprendre le *surplus killing*, soit la « prédation en excès », quand les loups tuent des proies bien au-delà de leurs besoins alimentaires. C'est l'expérience la plus traumatisante pour les éleveurs. D'ordinaire, les prédateurs chassent leur proie pour s'en nourrir et la traque s'arrête avec la mise à mort. Mais dans certains cas, les attaques de loups sur les troupeaux ne cessent pas au décès d'un animal et se poursuivent par des dommages (blessures ou mort) occasionnés en moyenne à trois ou quatre autres ovins. Voire dans certaines circonstances jusqu'à plusieurs dizaines. *« L'une des explications pourrait être la persistance de mouvements autour du loup après qu'il a tué un ovin dus à la panique ou au regroupement du reste du troupeau, incitant le prédateur à rester sur la séquence de chasse sans passer à celle de la consommation »*, tente d'expliquer Jean-Marc Landry dans son ouvrage *Le Loup* (Delachaux & Niestlé, 2017). Mais les observations nocturnes réalisées dans le projet CanOvis montrent que le phénomène peut avoir des origines plus variées et plus complexes d'un point de vue éthologique, qui restent inexpliquées.
Au total, de 2013 à 2018, l'expérience a permis d'engranger 3300 heures de suivi nocturne pour 291 nuits sur le terrain. Le rapport qui vient d'être terminé permet de mieux appréhender les comportements des loups dans un système pastoral, mais la complexité et la variété des situations nécessitent d'aller plus loin. *« Dans les prochaines années, nous allons encore accumuler les observations pour pouvoir mieux interpréter les signaux qui précèdent la prédation et en retour mieux ajuster les stratégies de protection »*, espère Jean-Luc Borelli. C'est ce qu'ont compris les éleveurs du massif des Bauges. Cédric Laboret conclut ainsi : *« Il ne faudrait pas parler du loup, mais de "son" loup. »* ■

JEAN-LUC BORELLI

« La protection du bétail a toujours été pensée du point de vue de l'humain, jamais de celui du prédateur »

Jean-Luc Borelli, biologiste, cofondateur du projet d'étude CanOvis

GÉNÉTIQUE

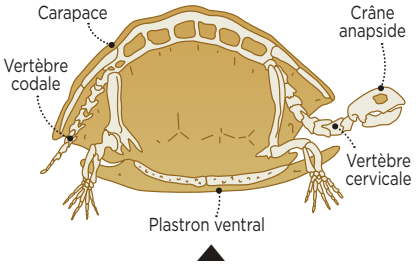
Une espèce qui a peu évolué

Si les canidés sont apparus il y a 40 millions d'années, le loup moderne n'a émergé qu'il y a 1,8 million d'années. Aujourd'hui, le genre compte 13 espèces toutes interfertiles : sept différentes espèces de loup auxquelles s'ajoutent le dingo d'Australie, le coyote, le chacal ou le chien. Originaire d'Amérique du Nord, le carnivore est arrivé en Eurasie par le détroit de Béring il y a 800 000 ans. Le loup d'Italie qui colonise actuellement la France proviendrait d'une des souches génétiques les plus anciennes. Les contraintes climatiques, favorisant l'émergence des forêts, ont contribué à faire évoluer l'animal vers des méthodes de chasse impliquant un bon odorat et de grandes capacités de course à longue distance. Dépourvus de griffes rétractiles, les loups ne peuvent tuer rapidement leurs proies et doivent les pourchasser longtemps pour les fatiguer. En réponse, les défenses des ongulés convoités se sont améliorées au cours de l'évolution, soit en augmentant la vitesse de leur course par la taille des pattes (cerfs, chevreuils), soit en fréquentant des falaises inaccessibles pour le prédateur (chamois, bouquetins). Le loup est le premier animal domestiqué il y a 30 000 ans. *Canis lupus familiaris* a depuis été modelé par l'humain. Et si le loup n'a pratiquement pas changé d'aspect depuis le pléistocène, le chien est l'espèce qui connaît aujourd'hui la plus grande diversité phénotypique.

L'origine de la carapace des tortues enfin dévoilée

C'est un mystère de l'évolution : où et comment est apparue la carapace de cet animal ? De nouveaux fossiles et la biologie du développement ont bousculé les hypothèses dominantes du siècle dernier. Et offrent enfin un éclairage sur l'épopée évolutive ayant mené à son émergence, il y a entre 260 et 210 millions d'années.

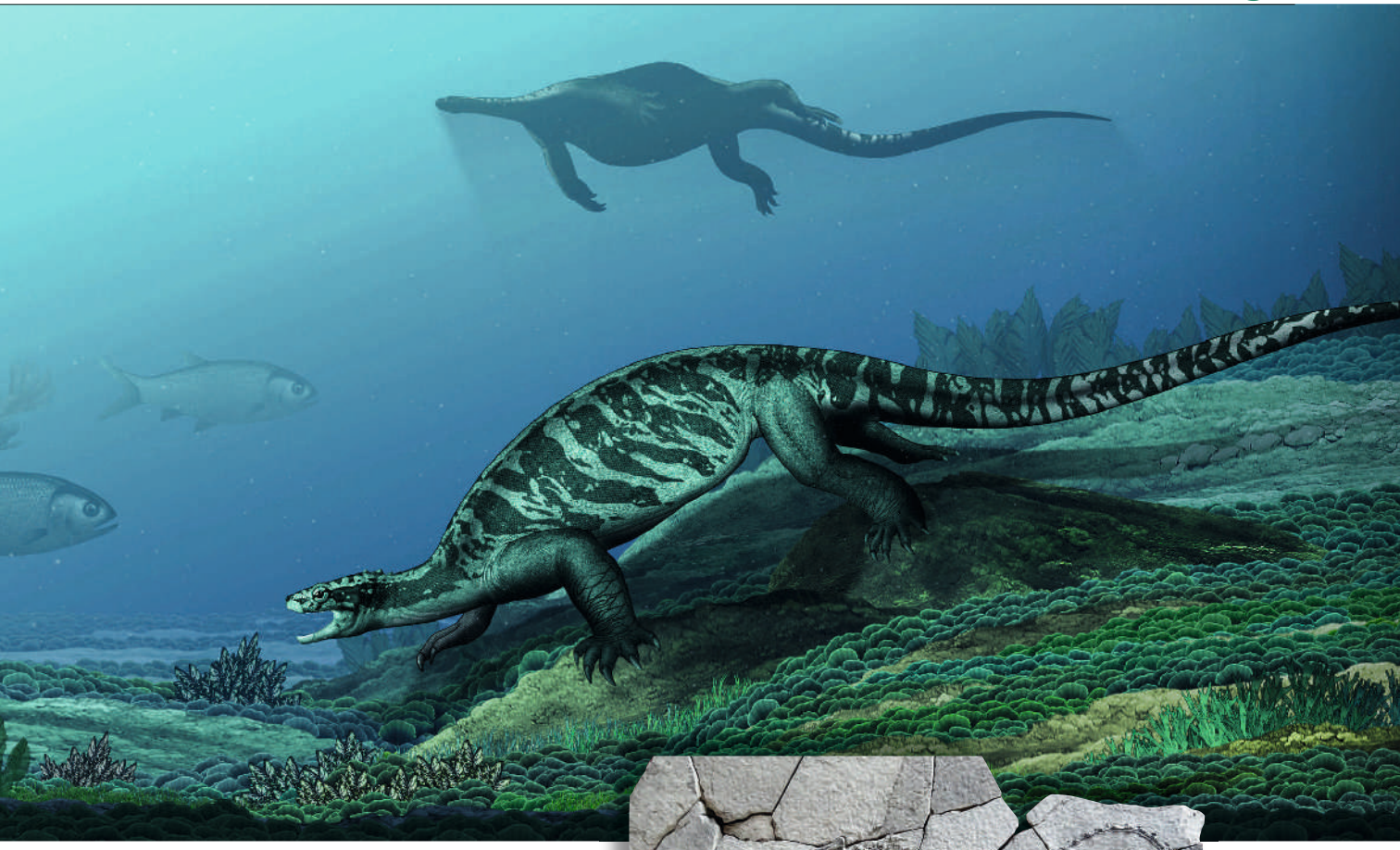
Que peut-il arriver de pire à une tortue ? Se retourner ! Dans cette position, elle est non seulement sans défense, mais les efforts qu'elle doit déployer pour se remettre à l'endroit conduisent à une dépense énergétique extrêmement importante : deux fois supérieure à celle requise pour marcher, révèle une étude scientifique publiée en janvier. Ce qui pousserait la tortue à choisir les comportements et les environnements les moins propices à l'accident. À se demander comment l'évolution a permis à cet animal de conserver — et même de développer — une morphologie qui semble si handicapante… En effet, d'autres résultats récents confirment que son histoire est ancienne. Très ancienne.



La tortue moderne se caractérise par sa carapace, son crâne anapside (dépourvu de fosses temporales) et son plastron ventral.

Retour en arrière. La découverte de la plus vieille « proto-tortue » à bec ne remonte qu'à 2018. Mis au jour en Chine du Sud, dans la province verdoyante de Guizhou, le fossile vieux de 228 millions d'années est baptisé *Eorhynchochelys* (« tortue à bec de l'aube », en grec). Pourtant, hormis le bec, il ne présente encore aucune caractéristique des tortues modernes : ni carapace, ni plastron ventral, ni crâne anapside — c'est-à-dire dépourvu d'ouvertures crâniennes derrière les orbites. La recherche d'ancêtres de la tortue sans carapace ni plastron est en fait très récente et résulte d'un revirement dans la vision que les paléontologues ont de l'histoire de sa carapace. Au XXe siècle, prédomine l'hypothèse dite composite : elle stipule que la carapace dérive d'une fusion entre les côtes et des ostéodermes, plaques osseuses superficielles qui se développent dans la peau, par exemple chez le tatou. Ce qui conduit à se limiter à un ancêtre

BRUNO BOURGEOIS - J.L. KLEIN & M.L. HUBERT / NATURAGENCY



Le fossile de « Eorhynchochelys » (ci-contre), la plus vieille proto-tortue à bec connue (ci-dessus, vue d'artiste), a été découvert en Chine en 2018.

IVPP - NICK FRASER, NATIONAL MUSEUMS SCOTLAND

de la tortue… qui lui ressemble déjà. « *Âgée de 210 millions d'années,* Proganochelys *fut la plus vieille proto-tortue reconnue pendant près d'un siècle* », se souvient Tyler Lyson, paléontologue au musée de la Nature et des Sciences de Denver (États-Unis). Celle-ci est déjà dotée d'une carapace complète. Des ostéodermes couvrent son cou, sa queue et ses membres et confortent l'hypothèse que les ostéodermes précèdent la carapace chez la tortue. De plus, les tortues ont un crâne anapside, une caractéristique partagée avec les parareptiles, des cousins disparus des reptiles, pour certains couverts d'ostéodermes. L'affaire est claire : la tortue serait un cousin des parareptiles. Dossier classé… jusqu'en 2008.

Dans la même formation sédimentaire où sera trouvé dix ans plus tard et huit mètres plus bas *Eorhynchochelys*, des chercheurs chinois excavent alors un drôle de fossile de 40 cm de long, qu'ils baptisent *Odontochelys* (du grec *chelys*, tortue, et *odonto*, à dents). À peine extrait de sa gangue sédimentaire de 220 millions d'années, il retourne la situation. « *C'était sans aucun doute une proto-tortue avec un plastron ventral et des côtes épaisses, mais sans carapace ni ostéodermes,* relate le paléontologue américain. Odontochelys *infirme l'hypothèse composite et prouve l'hypothèse* de novo. » Revigorée par l'embryologie dans les années 2000, celle-ci suppose que la carapace provient uniquement de l'expansion et de la fusion des côtes et des vertèbres. « *Durant le développement embryonnaire, les côtes des tortues s'entourent d'une membrane épaisse qui s'étend latéralement jusqu'aux côtes voisines avant de s'ossifier* », précise Tatsuya Hirasawa, professeur de biologie du développement à l'université de Tokyo. Par ses côtes élargies, *Odontochelys* résonne avec ce modèle de déve-

WIKIPEDIA CC

« Eunotosaurus », qui ressemble à un lézard mais dont les vertèbres et les côtes l'apparentent aux tortues, vivait il y a 260 millions d'années (vue d'artiste).

loppement embryonnaire, durant lequel le plastron s'ossifie avant la carapace. Cerise sur le gâteau : alors que l'animal est officiellement anapside, certains chercheurs devinent des ouvertures derrière les orbites du fossile, comme c'est le cas chez les reptiles, au crâne diapside – doté de deux paires d'ouvertures derrière les orbites, et que la génétique rapproche depuis peu des tortues *(lire l'encadré ci-dessous)*. Traduction : le crâne anapside des tortues actuelles est une innovation récente, pas un caractère ancestral de parareptile. Plus besoin de crânes anapsides, d'ostéodermes ou même de carapace pour partir à la chasse aux proto-tortues !

À partir de là, tout s'emballe. « Odontochelys *m'a rappelé* Eunotosaurus*, un animal de 260 millions d'années que j'avais vu dans* Ostéologie des reptiles*, la "Bible" de mon champ de recherche* », s'enthousiasme Tyler Lyson. Dès 2010, il propose de considérer *Eunotosaurus* comme une proto-tortue sur la base de son nombre de vertèbres et de ses côtes qui rappellent celles des tortues. « *Nous aimons penser qu'*Eunotosaurus *est l'archéoptéryx des tortues* », s'amuse Tyler Lyson, en référence au célèbre fossile longtemps considéré comme le plus vieil oiseau connu. Le consensus n'est pas là, mais l'idée fait son chemin.

En parallèle, la description d'*Odontochelys* frappe Rainer Schoch, professeur de paléontologie au Musée national d'histoire naturelle de Stuttgart (Allemagne). L'air de famille est évident avec des fossiles de -240 millions d'années qu'il a découverts en 2001, dans une carrière à 100 kilomètres de Stuttgart. « *Les squelettes étaient si incomplets que nous avons mis des années à comprendre qu'il s'agissait d'individus de la même espèce* », relate le paléontologue. Enfin décrit en 2015, *Pappochelys* (du grec *pappos*, grand-père), 20 cm de long, partage avec l'archaïque *Eunotosaurus* un crâne diapside, mais s'en démarque par de fins os ventraux spécifiques aux reptiles — les *gastralia* — plus épais et des côtes plus courtes. Ne reste plus qu'à assembler les pièces du puzzle pour dessiner le scénario qui conduit aux tortues actuelles.

Des innovations cruciales pour survivre à une extinction de masse

À la fin du permien, il y a environ 260 millions d'années, les reptiles se diversifient. Parmi eux, *Eunotosaurus* (du grec *sauros*, lézard, et *eunotos*, à dos robuste). Avec des faux airs de lézard ayant gobé un ballon, *Eunotosaurus* creuse son abri sommaire dans ce qui deviendra l'Afrique du Sud, non loin d'une mer intérieure superficielle. Grâce à de robustes pattes avant et des côtes

PHYLOGENÈSE

Un casse-tête évolutif

Qui sont les plus proches cousins actuels des tortues ? Question simple, mais réponse difficile. « *Les tortues ont été placées partout dans l'arbre évolutif des amniotes* [les tétrapodes dont l'embryon croît dans du liquide amniotique]*, c'est assez fou* », s'étonne Tyler Lyson, paléontologue au musée de la Nature et des Sciences de Denver (États-Unis).

L'hypothèse qui en faisait, sur la base de leur crâne anapside, de lointains cousins des autres animaux traditionnellement appelés reptiles, longtemps dominante, est aujourd'hui délaissée. Seule certitude : les tortues sont plus proches des archosauriens — les crocodiles et les oiseaux — et des lépidosauriens — les serpents et les lézards — que des autres animaux. Toute la difficulté réside dans la résolution des relations entre ces groupements phylogénétiques.

Les données morphologiques rapprochent les tortues des lépidosauriens, voire des sauriens — l'ensemble des archosauriens et des lépidosauriens. Seul problème : depuis une vingtaine d'années, les analyses génétiques regroupent systématiquement les tortues… avec les archosauriens ! « *Nous devons encore réconcilier les données morphologiques et génétiques* », concède le paléontologue américain.

courtes, larges et épaisses, il est adapté à un mode de vie terrestre et fouisseur. Première étape menant à la carapace, ces côtes confèrent un double avantage : protection face au broyage de la cage thoracique en cas d'ensevelissement, et surtout meilleure capacité à creuser le sol en rigidifiant le tronc.

Ces innovations arrivent à point nommé : il y a 252 millions d'années, lors de l'extinction de masse permien-trias, les ancêtres des tortues survivent probablement aux températures infernales régnant au cœur de la Pangée (jusqu'à 50 à 60 °C) grâce à leur capacité à s'enfouir.

En huit millions d'années, un plastron complet apparaît

On retrouve 12 millions d'années plus tard un *Pappochelys* aux abois, dans l'Allemagne du trias moyen. Habituée des terriers profonds, la proto-tortue aux épaisses *gastralia* est en fâcheuse posture : elle vient de se faire happer en bordure d'un lac. Après l'avoir dévoré, son mystérieux prédateur recrache ses os brisés qui terminent au fond de l'eau.

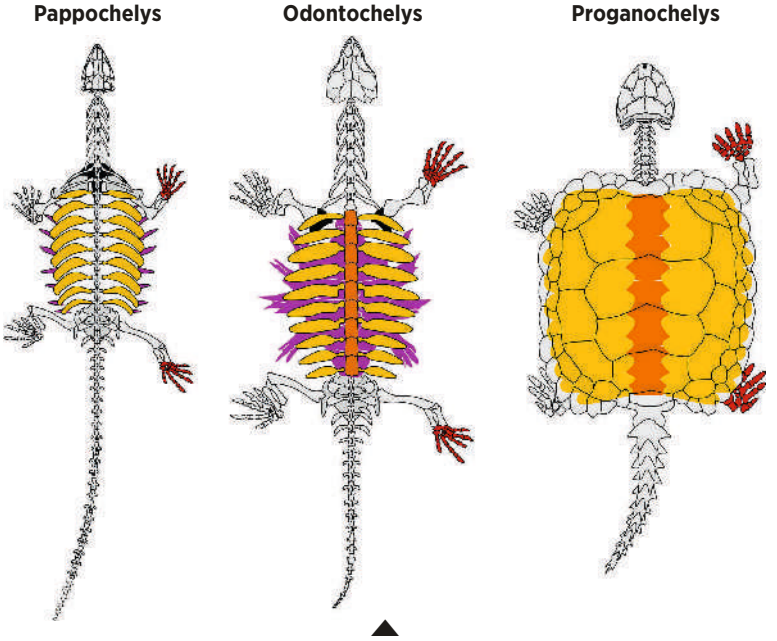
Pendant les millions d'années qui suivent, côtes et *gastralia* deviennent toujours plus larges alors que les ouvertures à l'arrière du crâne se referment progressivement, peut-être à cause du développement des muscles du cou. Il y a 228 millions d'années, le géant semi-aquatique *Eorhynchochelys*, 1,8 mètre de long, oscille entre chasse à l'ammonite en mer et coups de patte puissants pour déterrer d'infortunés habitants de l'estran, dont il se délecte avec un bec. Seulement 8 millions d'années plus tard, *Odontochelys* barbotte dans la même mer peu profonde avec un plastron complet, recouvert d'écailles de kératine. Issu de la fusion des *gastralia*, le plastron aurait d'abord joué un rôle de ballast, permettant à *Odontochelys* de sonder les profondeurs. Une hypothèse qui ne fait pas l'unanimité : « Odontochelys *n'est pas un animal marin standard, son cadavre pourrait avoir été emporté depuis la terre* », suggère Rainer Schoch.

Enfin, 10 millions d'années plus tard arrive *Proganochelys*. Cosmopolite, la proto-tortue terrestre de 1 mètre de long est la première à disposer d'un vrai crâne anapside et, surtout, d'une carapace enfin complète, issue de la fusion des côtes et des vertèbres. Son rôle protecteur l'emporte sur les inconvénients, puisqu'on la retrouve trente millions d'années plus tard chez les premières tortues à l'aspect moderne. Un véritable succès de l'évolution que prouve son aspect quasi inchangé, ainsi que les plus de 350 espèces de tortues actuelles ! ■

François Mallordy

ÉVOLUTION

Du « lézard » à la tortue



Entre « Pappochelys » (il y a 240 millions d'années) et « Proganochelys » (il y a 210 millions d'années), côtes et vertèbres fusionnent pour former une carapace.

RAINER R. SCHOCH & SUES, ET AL.

PALÉOCLIMAT

Quand des tortues prouvent l'existence d'un ancien courant marin

Pas seulement objet d'étude, l'évolution des tortues sert aussi d'outil. En utilisant la structure génétique de 27 tortues vertes, des chercheurs néerlandais ont suggéré le 11 octobre 2021 dans la revue *Heredity* qu'un courant chaud côtier contournait l'Afrique du Sud lors de la dernière période interglaciaire, il y a 115 000 à 130 000 ans. En effet, *« le modèle le plus proche des données génétiques fait diverger les tortues vertes malgaches de la population est-atlantique durant la dernière période interglaciaire »*, explique Jurjan van der Zee, premier auteur de l'étude. L'hypothèse expliquerait que plusieurs animaux marins tropicaux soient passés de l'Atlantique à l'océan Indien, un trajet aujourd'hui impossible à réaliser à cause d'un courant froid.

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

Face à la baisse de consommation de viande en France, industriels et start-up inondent les supermarchés et restaurants de produits alternatifs. Or, ces susbtituts sont-ils vraiment avantageux sur le plan nutritionnel, écologique ou éthique ?

Steaks végétaux

Les substituts de viande sur la sellette

Renoncer à la viande sans renoncer au steak : c'est la promesse vendue par les industriels qui confectionnent des imitations végétales. Véritable alternative nutritionnelle ou mirage de produits ultratransformés ? « Sciences et Avenir – La Recherche » a mené l'enquête. Elle révèle que non seulement la promesse d'un substitut en protéines n'est pas tenue, mais que ces galettes contiennent sel, sucres et matières grasses en excès.

Par Sylvie Boistard @syboistard

C'est tout un symbole : en 2021, la célèbre enseigne de restauration rapide McDonald's a lancé son burger McPlant avec, en lieu et place du traditionnel steak haché de bœuf, une galette à base de pois, de riz et de pomme de terre. Une façon opportuniste de répondre à la baisse de consommation de viande dans les pays occidentaux. En France, celle-ci est passée de 90 kg en moyenne par habitant en 2002 à 84,5 kg en 2020, selon les données de France Agrimer. Une transition alimentaire aux motivations multiples : volonté de préserver la planète, prise en compte du bien-être animal et, bien sûr, de sa santé. Les instances sanitaires appellent en effet à diminuer sa consommation de viande rouge (pas plus de 500 g par semaine) et de charcuterie (pas plus de 25 g par jour et par adulte), toutes deux mises à l'index par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) qui, chez l'humain, les a respectivement classées « cancérogène probable » et « cancérogène avéré », principalement dans le cancer colorectal. C'est dans ce contexte que les industriels ont développé l'alternative des « substituts végétaux ». Hachés, sous forme de saucisses, boulettes, nuggets ou même en rillettes, le végétal a conquis en quelques années les rayons des supermarchés, mais aussi les cartes de restaurants 100 % vegan. Aspect, texture, saveur…

Ces produits prêts à cuire tendent à imiter un « vrai » steak haché de bœuf ou un pané de poulet, grâce au recours aux légumineuses (fèves, soja, pois cassés, lentilles) et aux céréales (riz, blé), sources majeures de protéines végétales. Un bon point relevé par les nutritionnistes qui observent que les Français n'en consomment pas assez. *« Le Programme national nutrition santé (PNNS) conseille un ratio de 50 % d'apports protéiques de sources animales et 50 % de sources végétales,* souligne Stéphane Walrand, directeur de recherche au laboratoire de nutrition humaine à l'Inrae de Clermont-Ferrand. *Mais on n'y est pas : en France, on consomme encore deux tiers de protéines animales et un tiers de protéines végétales. »*

Mais les choses sont plus complexes. Un produit végétal n'apporte pas, à lui seul, les neuf acides aminés constitutifs des protéines essentielles à l'organisme pour les muscles, la synthèse des enzymes, des anticorps et des hormones. *« Les légumineuses manquent de méthionine et de cystéine,* détaille Stéphane Walrand. *Il faut donc veiller à ce que les céréales, elles-mêmes pauvres en lysine, soient associées aux légumes secs pour garantir une bonne qualité nutritionnelle. Or ce n'est pas toujours le cas, même si les industriels travaillent sur la complémentarité des sources. »* Au problème de la qualité s'ajoute celui de la quantité : les substituts industriels de viande peuvent s'avérer insuffisants. *« En deçà de 15 g de protéines pour 100 g de produit, les besoins journaliers ne sont pas satisfaits* [0,83g/kg de poids corporel, soit 58 g pour un homme de 70 kg] », note Florence Foucaut, diététicienne-nutritionniste à Paris. De plus, l'utilisation par les industriels de protéines sous forme de peptides (hydrolysats) de légumineuses et de céréales diminue leur densité nutritionnelle. *« Finalement, on perd en fibres alimentaires, en vitamines et en minéraux. Aussi, mieux vaut cuisiner soi-même des galettes de légumes secs et de céréales pour bénéficier de tous leurs atouts nutritionnels »*, estime Jean-Michel Lecerf, chef du service de nutrition à l'Institut Pasteur de Lille.

Les substituts végétaux posent aussi la question de leur préparation. En effet, les procédés industriels peuvent augmenter la quantité d'isoflavones (génistéine et daïdzéine) présents dans le soja. Or ceux-ci, qualifiés de « phyto-œstrogènes » en raison de leur capacité à se fixer aux récepteurs des hormones fémi-

UN BILAN NÉGATIF

Les plus

- Apport protéique végétal assuré par le blé, le soja, les lentilles…
- Prêts à cuisiner.

Les moins

- Aliments ultratransformés avec présence de divers additifs.
- Teneurs variables en protéines, sucre, sel et matières grasses.
- Recours à des hydrolysats de protéines ou protéines texturées qui réduisent les quantités de fibres, minéraux et vitamines.
- Teneur élevée en isoflavones dans les substituts de soja.

JEAN-FRANÇOIS HOCQUETTE

CHERCHEUR À L'UNITÉ MIXTE DE RECHERCHE SUR LES HERBIVORES, INRAE DE CLERMONT-FERRAND

« La sécurité sanitaire de la viande artificielle n'est pas prouvée »

« La fabrication de « viande » artificielle exige de répondre à certains défis. Pour stimuler la multiplication et la différenciation des cellules souches, on utilise du sérum de veau fœtal obtenu à partir du sang d'un fœtus. Son prélèvement oblige à tuer la vache et son veau. Si toutes les start-up disent être parvenues à s'affranchir de l'utilisation de ce sérum, aucune n'explique comment. Or il s'agit d'un point crucial pour affirmer que le processus permet de tuer moins de bêtes. En outre, ces entreprises auraient recours à des promoteurs hormonaux de croissance qui sont interdits en élevage dans l'Union européenne. Ce qui posera un problème pour commercialiser leur produit en Europe. Enfin, aucune étude scientifique ne garantit que l'aliment final réponde aux exigences de sécurité sanitaire et à nos besoins nutritionnels. Les fibres musculaires produites seraient bien riches en protéines, mais plus pauvres en fer et en vitamine B12 que la viande d'élevage. La réponse des start-up consiste à ajouter tout ce qui pourrait manquer. Ce qui conduira à développer encore des produits ultra-transformés." ■

Propos recueillis par S. B.

THIERRY ZOCCOLAN/AFP POUR SCIENCES ET AVENIR-LA RECHERCHE

nines, les œstrogènes, pourraient perturber le fonctionnement des cellules et jouer un rôle inhibiteur ou activateur selon l'organe où ils se fixent et leur concentration. *« Les protéines texturées de soja, produites à partir de graines broyées et déshuilées et utilisées dans la fabrication des galettes, contiennent plus d'isoflavones que les graines brutes »*, confirme Catherine Bennetau-Pelissero, professeure en nutrition-santé à l'université de Bordeaux. Dans de récents travaux, elle a mesuré le taux d'isoflavones de 140 produits du commerce contenant du soja. Résultat : un steak de soja de 100 g peut en contenir jusqu'à 40 mg. *« Cela peut faire beaucoup pour un enfant, sachant que l'Agence nationale de sécurité sanitaire des aliments (Anses) recommande de ne pas dépasser 1 mg d'isoflavones par kilo de poids corporel et par jour, soit 60 mg pour un adulte de 60 kg »*, pointe la chercheuse. Elle regrette ainsi que la teneur en phyto-œstrogènes ne soit pas mentionnée sur l'emballage, comme l'avaient pourtant recommandé les autorités sanitaires en 2005. *« On peut consommer une galette végétale au soja de temps en temps, mais pas tous les jours »*, conclut-elle.

Face aux limites du végétal, l'essor de la viande de culture

En scrutant la liste des ingrédients, on constate en outre que ces produits vendus comme plus sains pour la santé pèchent en fait souvent sur le plan nutritionnel. *« Pour augmenter la sensation agréable au palais — la palatabilité — du soja et des lentilles, les industriels ajoutent du sel, des sucres (sirop de glucose, maltodextrine) et des matières grasses. Il faut donc rester vigilant et éviter ceux qui affichent plus de 10 % de lipides, notamment s'il s'agit d'acides gras saturés comme l'huile de palme ou de graisses partiellement hydrogénées (acides gras trans), néfastes pour le système cardiovasculaire. On préfèrera l'huile d'olive ou celle de colza en raison de ses oméga-3 bénéfiques pour la santé »*, explique Florence Foucaut. La vigilance ne doit pas s'arrêter là. Gare aussi aux divers additifs (texturants, colorants) présents pour faire illusion. Conclusion : *« les substituts de viande s'ajoutent à la liste des produits ultra-transformés déjà consommés chaque jour. En manger deux fois par semaine, c'est suffisant »*, conseille Jean-Michel Lecerf.

Enfin, les alternatives végétales ne remplacent pas la qualité nutritionnelle de la viande dans laquelle on trouve aussi du zinc, un stimulant du système immunitaire intervenant dans les fonctions neurologiques et activant la réparation des lésions cutanées. Ainsi que de la vitamine B12, essentielle au fonctionnement normal du système nerveux et à la formation des globules rouges mais absente du règne végétal, ou bien encore du fer (dit héminique), mieux absorbé que celui présent dans les végétaux. Les adeptes des steaks végétaux devront donc aller chercher ces nutriments ailleurs : dans les fruits de mer, les œufs ou les oléagineux (noix, noisettes, amandes).

Face à toutes ces limites propres aux alternatives industrielles à la viande, des start-up se sont lancées dans le développement de la viande de culture. Longtemps cantonnée aux laboratoires de recherche, celle-ci a reçu un premier feu vert en 2020 à Singapour, où la start-up américaine Eat Just peut commercialiser ses nuggets de poulets cultivés en laboratoire dans les restaurants. Depuis, cette société projette de construire au Qatar un site de viande artificielle d'ici à 2023, à l'instar de plusieurs autres entreprises telles Future Meat Technologies, qui a déjà lancé son usine de production près de Tel-Aviv en Israël, ou Upside Food, en Californie (États-Unis). Si elle n'est pour l'instant pas d'actualité en France, cette viande de culture pose de nombreuses questions, tant éthiques que nutritionnelles *(lire l'encadré p. 68)*. ■

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Il faut manger moins de viande

Réduire la consommation de viande au niveau mondial serait une solution efficace pour faire chuter les émissions de gaz à effet de serre, responsables du changement climatique. Une équipe de l'Inrae de Montpellier a modélisé l'impact environnemental du contenu de notre assiette. Verdict en chiffres.

Viande, poisson, œufs	Fruits, légumes	Féculents non raffinés (riz, légumes secs)
Moins 50 grammes/jour (90 g au lieu de 140)	**Plus** 150 grammes/jour (500 g au lieu de 350)	**Consommation inchangée** (200 g/jour)

Résultat : -30 à -40 % d'émissions de GES

Quasi-arrêt de la consommation (≤ 25 g)	**Plus** 150 grammes/jour (500 g au lieu de 350)	**Plus** 100 grammes/jour (300 g au lieu de 200)

Résultat : -60 % d'émissions de GES

BRUNO BOURGEOIS

Pourquoi le soleil provoque des éternuements

Ce réflexe naturel est largement répandu dans le règne animal pour débarrasser les voies nasales de microbes ou d'impuretés. Mais l'éternuement se déclenche parfois aussi lors d'une exposition au soleil. Une exploration inédite des nerfs et des neurones impliqués chez l'humain livre ses premiers enseignements.

Un rayon de lumière ou de soleil et c'est l'inévitable salve d'éternuements qui s'ensuit. Un syndrome loin d'être rare puisqu'il toucherait une personne sur quatre. Son nom scientifique : le réflexe photo-sternutatoire ou éternuement héliotropique, soit « Achoo » en anglais, acronyme non dépourvu d'humour d'Autosomal dominant Compelling Helio-Ophthalmic Outburst. Bien que décrit depuis Aristote, ce type très particulier d'éternuement demeure mal compris. Les premières observations scientifiques remontent aux années 1950, lorsqu'un chercheur français, Jean Sédan, rendit compte des éternuements de certains patients exposés à la lumière de son ophtalmoscope au cours d'un examen de la rétine. Mais ce n'est que très récemment, en octobre 2020, que la première enquête de grande ampleur sur le sujet a été lancée au Royaume-Uni, l'Oxford Photic Sneeze Survey. Toujours en cours, elle est coordonnée par un psychologue d'Oxford (Royaume-Uni) aujourd'hui à Munich (Allemagne), Manuel Spitschan. Ce spécialiste de chronobiologie est d'ailleurs lui-même atteint d'Achoo. *« Ce réflexe me fascine,* explique le chercheur. *Comme les recherches menées à ce jour n'expliquent pas de manière satisfaisante les mécanismes qui le sous-tendent, j'ai eu envie d'en savoir plus.* »

Mais avant d'explorer le rôle de la lumière, il faut rappeler ce qu'est intrinsèquement l'éternuement. En fait, c'est un réflexe tout à fait naturel, comme la toux. Le phénomène, qui ne dure que quelques secondes, répond à un chatouillement dans le nez, provoqué le plus souvent par différents agresseurs (poussières, irritants, pollens, particules virales…). Au niveau de la muqueuse nasale, près des cils des cellules sensorielles, se trouvent les terminaisons nerveuses d'un nerf, le trijumeau, qui joue un rôle très important dans la transmission sensitive et sensorielle de multiples informations perçues à l'échelle du visage. En cas d'irritation nasale, c'est lui qui envoie au cerveau le signal déclenchant l'éternuement. Ce qui se traduit par une contraction progressive des muscles respiratoires du thorax, de l'abdomen et du pharynx. Ceux-ci se bloquent, la pression d'air monte progressivement du thorax vers le haut du corps et l'arrière de la gorge avant l'ouverture de la bouche et le bouquet final de postillons projetés à parfois plusieurs mètres de distance, si on ne dégaine pas assez vite son coude ou son mou-

1 personne sur 4
éternue lors d'une exposition au soleil.

16 à 50 km/h
La vitesse de projection des particules.

12 000 fois
Le record d'éternuements subi par une Américaine de 12 ans pendant un mois en 2015, soit 20 fois par minute.

SHUTTERSTOCK

Poussières, pollens, particules virales… irritent la muqueuse nasale : éternuer permet de se débarrasser des agresseurs avant qu'ils n'atteignent les poumons.

choir. Ce réflexe libératoire permet ainsi de se débarrasser des agresseurs avant qu'ils n'atteignent les poumons. Il se répète parfois, entraînant des éternuements à répétition qui maximisent leur efficacité. D'où l'importance de ne pas le réprimer. D'autant plus que se retenir d'éternuer peut s'avérer dangereux *(lire l'encadré p. 72)*.

Selon une publication parue il y a tout juste dix ans dans *The Faseb Journal*, éternuer aurait aussi un second objectif : redynamiser le système de circulation du mucus, les sécrétions de la muqueuse nasale, dont le rôle est de piéger les poussières et de les éliminer. Coordonnateur de ces travaux à l'université de Pennsylvanie (États-Unis), le Dr Noam Cohen utilisait cette image : « *Quand un ordinateur commence à ralentir, on l'éteint, et après l'avoir redémarré, il marche mieux. L'éternuement est l'équivalent du redémarrage pour le système respiratoire : il relance la machine.* »

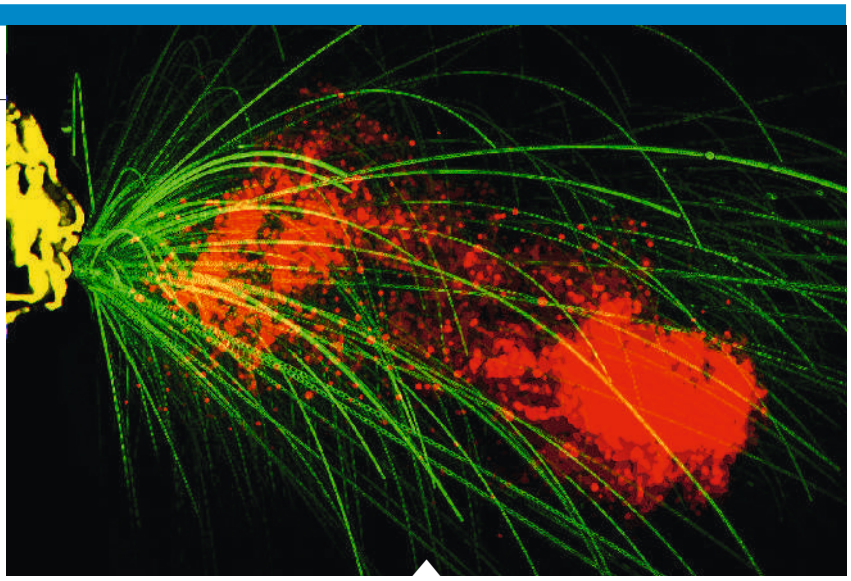
PENNSYLVANIA UNIVERSITY

« L'éternuement est l'équivalent d'un redémarrage pour le système respiratoire : il relance la machine »

Dr Noam Cohen, professeur à l'université de Pennsylvanie, aux États-Unis

Mais comment la lumière vient-elle s'immiscer dans ce processus ? Dans le cas de l'Achoo, ni grains de poussières, ni particules virales pour activer la fameuse machine à éternuer. Il suffit d'une simple lumière, naturelle ou artificielle. Ce trouble a probablement une composante génétique, mais il demeure mystérieux. Car rares sont les équipes qui s'y sont intéressées. La question a fait l'objet d'à peine une centaine de publications scientifiques. L'explication pourrait être anatomique et reposer sur

une proximité des fines terminaisons nerveuses du nerf trijumeau avec celles du nerf optique. Stimulé par la lumière atteignant la rétine, le nerf optique s'activerait en premier mais ses fibres entreraient en quelque sorte en court-circuit avec celles du trijumeau. Ce qui aurait pour conséquence de provoquer l'éternuement. En 2010, selon un travail paru dans *Plos One*, des chercheurs de l'université de Zurich (Suisse) ont avancé une autre hypothèse : celle d'une sensibilité plus élevée du cortex visuel des personnes concernées, en lien avec celle du nerf optique.



IBOUROUBA, MIT.EDU-HHMI/BIOINTERACTIVE

Lorsqu'une personne éternue, deux types de gouttes se forment : les plus grosses sont projetées jusqu'à 2 m (en vert), les plus petites forment un nuage en suspension (en rouge).

Les neurones impliqués ont été identifiés

À ce jour, aucune démonstration ne valide ces hypothèses. Et les solutions pour venir en aide aux « achooeurs » sont pour ainsi dire inexistantes, excepté le port préventif des lunettes de soleil, en particulier s'ils risquent d'être exposés à des changements brutaux d'intensité lumineuse — comme les sorties de tunnel, lorsque la lumière fait suite à l'obscurité de façon soudaine. C'est d'ailleurs une étude menée, non pas sur les conducteurs routiers, mais sur les pilotes d'avion, publiée dans les années 1990 dans la revue *Military Medicine*, qui a révélé la survenue du réflexe d'éternuement photique dans ces circonstances chez les sujets sensibles.

C'est donc pour en savoir davantage que se poursuit l'Oxford Photic Sneeze Survey, avec le suivi de 300 volontaires recrutés par voie de presse ou par les réseaux sociaux. Par le biais des questionnaires qui leur ont été transmis, ils ont pu décrire avec précision les circonstances de déclenchement des éternuements : les heures précises de la journée, leur fréquence, intensité, durée, les signes associés éventuels… « *La plupart rapportent un délai de cinq à dix secondes entre l'exposition à la lumière et l'éternuement* », a déjà pu constater Manuel Spitschan, dont l'objectif est de « *mieux comprendre ce qui motive le réflexe d'éternuement photique et tenter d'en identifier le stimulus exact* ». Lorsqu'il aura publié ses premiers résultats, le chercheur prévoit également de tester différentes longueurs d'onde de lumière auprès des volontaires.

En attendant de percer tous les mystères de l'Achoo, d'autres scientifiques s'évertuent, de leur côté, à identifier les zones cérébrales directement impliquées dans l'éternuement. C'est le cas de l'équipe de l'université Washington de Saint Louis (Missouri, États-Unis). En juin 2021, elle a franchi un pas important en parvenant à identifier avec une très grande précision, chez la souris, les groupes de neurones spécifiquement impliqués. Ces travaux pionniers publiés dans la revue *Cell* ont démontré, prouesse supplémentaire, qu'il était même tout à fait possible de contrôler les éternuements des rongeurs en les bloquant. Comment ? Vidéo à l'appui, les scientifiques ont exposé des rongeurs à des molécules irritantes, comme la capsaïcine du piment. Puis ils ont identifié au niveau de leur cavité nasale la présence d'un neurotransmetteur, la neuromédine B (NMB), sécrété par des neurones situés dans le tronc cérébral et dotés de récepteurs à ce neurotransmetteur. Les scientifiques se sont ensuite aperçus qu'il suffisait d'administrer la NMB aux rongeurs pour provoquer immédiatement les éternuements. À l'inverse, en bloquant les récepteurs, ils ont même réussi à les interrompre ! Un travail encore très fondamental qui montre en tout cas que la recherche sur l'éternuement a, plus que jamais, de l'avenir. ■ **Sylvie Riou-Milliot**

RECOMMANDATION

Ne jamais se retenir d'éternuer

Une perforation spontanée du pharynx et huit jours d'hôpital. Voilà comment s'est achevé le parcours d'un Britannique de 34 ans. Après avoir voulu réprimer un éternuement, celui-ci s'est vite retrouvé aux urgences le cou gonflé, rouge et très douloureux. L'histoire rapportée en 2018 par des médecins de l'hôpital universitaire de Leicester (Royaume-Uni) dans le *British Medical Journal* se concluait par cette recommandation simple : ne jamais se retenir. Autres risques encourus, selon les auteurs : une perforation des tympans et même une rupture d'anévrisme cérébral. France Alzheimer alerte également sur les conséquences à long terme du blocage de l'expiration. L'hyperpression exercée sur les vaisseaux peut, de manière répétée, provoquer des microlésions vasculaires, autant de zones potentielles de fragilité cérébrale qu'il est facile, pour une fois, d'éviter.

BIOGEN FRANCE

Des avancées majeures dans la recherche sur la maladie d'Alzheimer

La prise en charge de la maladie d'Alzheimer est un enjeu sociétal. La complexité de cette maladie neurodégénérative nécessite des recherches actives dans le domaine des stratégies thérapeutiques et de la prévention des troubles cognitifs, afin d'aider les patients et leurs aidants. À ce jour, il n'existe aucun traitement pour prévenir ou guérir la maladie. Toutefois, plusieurs études récentes suscitent de nombreux espoirs dans la prise en charge de la maladie d'Alzheimer à un stade précoce, afin de ralentir la progression de cette pathologie.
Béatrice Baciotti, directrice médicale de Biogen France, entreprise de biotechnologies pionnière en neurosciences, nous explique l'état d'avancement de la recherche.

Comment se caractérise la maladie d'Alzheimer ?

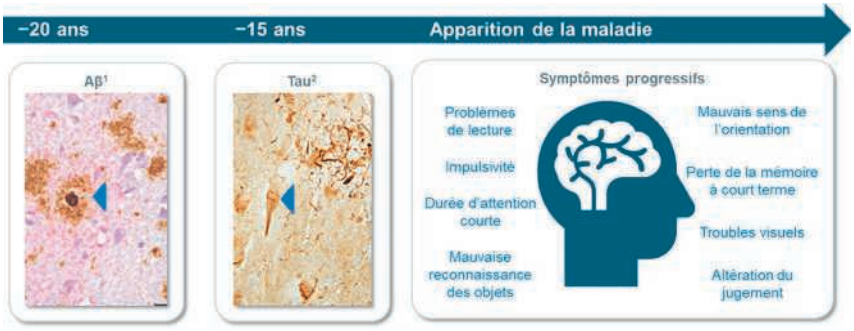
Deux types de lésions cérébrales apparaissent 15 ans, voire 20 ans, avant les premiers symptômes : des plaques amyloïdes-β entre les neurones et des agrégats de protéines Tau dans les cellules nerveuses. Combinés, ces mécanismes peuvent finir par endommager le tissu cérébral. Avec la progression des lésions, apparaissent des symptômes cliniques, tels que la perte de mémoire à court terme, des difficultés d'attention, des troubles du langage et du comportement, jusqu'à la diminution des activités de vie quotidienne.

Que peut-on attendre des anti-amyloïdes-ß, nouvelle classe de traitement ?

Tout d'abord, plus de 110 études ont eu lieu dans le monde jusqu'à maintenant, aboutissant à des échecs, mais la recherche a progressé ces dernières années. Les résultats cliniques de plusieurs études évoquent une corrélation entre les anti-amyloïdes-β, qui « nettoient » les plaques d'amyloïdes-β, et le ralentissement du déclin cognitif. Cette classe de traitement est destinée aux patients dès qu'ils développent des symptômes. Cette avancée constitue un tournant dans la prise en charge de la maladie d'Alzheimer car elle constitue une première étape, en ciblant l'amyloïde-β. Par la suite, d'autres traitements pourront cibler la protéine Tau. Il faut procéder par phase, comme cela a été le cas dans la recherche pour lutter contre le VIH ou le cancer. Aujourd'hui, les anti-amyloïdes-β sont les premiers traitements qui permettraient de ralentir l'évolution de la maladie : cette nouvelle classe constitue un réel espoir pour les patients et leurs proches. Biogen poursuit son engagement dans la recherche contre la maladie d'Alzheimer, notamment à travers plusieurs études ciblant les plaques d'amyloïdes-β et la protéine Tau.

Que dire aux patients et à leurs aidants ?

Il est primordial de détecter la maladie le plus tôt possible pour proposer une prise en charge holistique du patient, intégrant de la prévention, comme la stimulation cérébrale, l'exercice physique, l'alimentation, etc. La France a de nombreux atouts. Le réseau des consultations mémoire est unique au monde, intégrant plus de 500 centres mémoire et 28 centres experts (CM2R), riche d'équipes multidisciplinaires composées de neurologues, gériatres, psychiatres et de professionnels de santé reconnus mondialement pour leur expertise dans cette pathologie. Comme tous les acteurs engagés dans la prise en charge de cette maladie, nous souhaitons offrir aux patients la possibilité de conserver leur autonomie le plus longtemps possible, et ce, grâce aux traitements ciblés et à l'innovation en termes de détection et de prévention. ■



1. Mathur R, et al. PLoS One 2015 ; 10 : e0118463
2. Day RJ, et al. PLoS One 2015 ; 10 : e0132637

La médecine digitale, une opportunité unique pour les maladies neurodégénératives

Les avancées dans le domaine de la médecine digitale offrent de nouvelles possibilités pour détecter et diagnostiquer plus tôt, proposer des stratégies personnalisées et suivre les patients de manière plus efficace. « *Les outils digitaux nous permettent de mieux comprendre la dynamique globale de la maladie et d'accéder à l'ensemble des habitudes quotidiennes du patient ou des sujets à risque de maladie d'Alzheimer, leurs capacités cognitives, leur ressenti et l'impact des facteurs extérieurs sur leur cerveau* », explique Audrey Gabelle, directrice de l'unité Alzheimer de Biogen Digital Health, hub mondial de Biogen dédié à l'innovation en santé digitale.

À partir des informations récupérées en continu *via* une montre connectée ou un smartphone, combinées avec des données directement fournies par le patient ou l'aidant, ces outils permettront de créer un lien personnalisé, d'éduquer sur la maladie, de servir de support à la thérapeutique, de proposer une prévention globale, afin que le patient puisse vivre le mieux possible. « *Nous sommes en train de valider des tests cognitifs digitaux qui permettent, chez les personnes qui s'interrogent, de définir celles qui sont à très haut risque, afin de les engager vers des stratégies de prévention personnalisées et d'agir sur leur parcours de soins.* »

Février / 02 – Biogen - 155903

Les bienfaits méconnus des fromages

Malgré une mauvaise réputation, ces produits laitiers recèlent des atouts nutritionnels à condition de les consommer avec modération.

Morbier, crottin de Chavignol, époisses… Les Français raffolent du fromage et beaucoup n'imaginent pas terminer un repas sans lui. Pâtes pressées cuites (emmental, comté), non cuites (saint-nectaire, reblochon…), persillées (bleus, roquefort…), molles à croûte lavée (munster, livarot…), à croûte fleurie (camembert, brie…), fromages frais… Avec 1200 variétés françaises, le choix est difficile. En 2020, au temps des confinements successifs, les ventes ont explosé : celles de mozzarella ont grimpé de 21,2 %, le fromage à raclette de 12,2 % et le comté de 8,2 % (1). Si certains fromages, à l'instar de la mozzarella, ont mauvaise réputation sur le plan diététique, sous leur croûte se cachent de nombreux atouts nutritionnels.

Ils sont riches en acides gras saturés…

Avec 5,7 g à 8,2 g de lipides pour une portion de 30 g, les fromages sont caloriques : 126 kcal/30 g de comté, 100 kcal/30 g de saint-nectaire. Seuls les fromages frais, riches en eau, tirent leur épingle du jeu (25 kcal pour deux cuillères à soupe de fromage blanc) (2). Riches en acides gras saturés (7,5 g/30 g de roquefort, 6,7 g/30 g de mozzarella), les fromages renferment aussi du cholestérol (96 g/100 g d'emmental) et, dans une moindre mesure, des acides gras mono-insaturés (oméga-9). À noter que le taux de matières grasses (MG) indiqué est calculé pour le poids sec, sans tenir compte de la quantité d'eau du produit. Un camembert à 45 % de MG contient en réalité 20,3 g/100 g de lipides et non 45 g/100 g.

26 kg

de fromages sont consommés en moyenne par an et par habitant en France. (Source : Cniel)

… mais pas forcément néfastes pour le cœur

Selon l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses), les graisses saturées sont sans risque quand elles représentent jusqu'à 12 % des calories journalières, soit environ 26 g maximum pour 2000 kcal. Le Programme national nutrition santé (PNNS) recommande de consommer 30 g de fromage par jour. En outre, une méta-analyse conclut que la consommation quotidienne de 40 g de fromages réduirait de 18 % le risque d'infarctus du myocarde et de 10 % celui d'accident vasculaire cérébral (3). Selon une étude suédoise, un taux sanguin élevé en acide heptadécanoïque, un acide gras saturé présent dans les fromages, n'entraînerait pas de risque accru de décès, toutes causes confondues. Selon les auteurs, la vitamine K présente

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

FROMAGE PERSILLÉ Fromage dont le caillé est ensemencé avec un champignon, le *Penicillium roqueforti* ou *glaucum* qui lui confèrent des moisissures bleuâtres.

PASTEURISATION Procédé de traitement consistant à éliminer la plupart des micro-organismes du lait en le chauffant à une température comprise entre 60 et 90 °C.

FROMAGE AU LAIT CRU Fromage élaboré à partir d'un lait réfrigéré dès sa cueillette, dont la température ne dépasse jamais 40 °C.

dans les fromages pourrait avoir des effets cardioprotecteurs (4).

Une source majeure de calcium

Avec le phosphore (204 mg/30 g de comté), le calcium est nécessaire à la construction et au maintien du squelette. Or, les études consacrées aux bienfaits des produits laitiers sur la prévention de la perte osseuse et du risque de fractures ne sont pas unanimes (5). Avec 298 mg pour 30 g de comté et 220 mg pour 30 g de livarot, les pâtes pressées cuites et les pâtes molles à croûte lavée sont les plus riches en calcium, alors que les fromages frais en sont les moins pourvus (36 g pour 30 g de fromage blanc). Les fromages fournissent aussi du zinc (1,3 mg/30 g de reblochon) et du sélénium (8 µg/100 g de raclette), deux antioxydants stimulants du système immunitaire, ainsi que des vitamines du groupe B et, pour certains (emmental, munster, fromage blanc…), de la vitamine D.

Certains sont assez salés

Le salage du fromage révèle les arômes et aide à la conservation. Aussi certains affichent des teneurs particulièrement élevées comme la feta, le brie de Meaux, le munster, la palme revenant au roquefort avec près de 1 g par portion. Prudence également avec certains fromages tartinables type Carré Frais (1,2 g de sel/100 g). Les personnes souffrant d'hypertension peuvent se tourner vers les fromages frais (0,11 g/100 g de fromage blanc) ou la ricotta (0,3 g/100 g).

Leur croûte est comestible

Les fromages contiennent diverses bactéries (*Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*…) bénéfiques pour le microbiote intestinal (6), tout comme la croûte (par exemple, les levures *Geotrichum candidum* du livarot et du reblochon) (7). On peut consommer celle des pâtes pressées non cuites (ossau-iraty, cantal), persillées, ainsi que celle des pâtes à croûte fleurie (camembert, coulommiers) ou lavée (munster, époisses). En revanche, on évitera les croûtes recouvertes de fine couche de paraffine ou de cire (gouda, mimolette, édam…). Les personnes fragiles (enfants, femmes enceintes et immunodéprimés) doivent éviter les fromages au lait cru (salers, morbier, mont-d'or…) en raison des risques de contaminations bactériennes (*Escherichia coli*, salmonelles, listeria) responsables d'intoxications alimentaires. Elles leur préféreront les fromages à pâte pressée cuite (beaufort, gruyère…), les fromages fondus à tartiner et ceux au lait pasteurisé. ■ **Sylvie Boistard** @syboistard

ALEXANDRA RETION Diététicienne-nutritionniste à Paris

Pâtes molles et pressées pour les personnes sensibles au lactose

« Contrairement aux allergiques au lactose qui ne doivent pas manger de fromages, les personnes sensibles peuvent consommer des pâtes pressées et molles (emmental, camembert) qui n'en contiennent que quelques traces. Plus un fromage est affiné, moins il contient de lactose, celui-ci étant transformé en acide lactique par les bactéries. Ainsi, les frais en sont plus fournis (3 g/100 g de fromage blanc). Toutefois, le lactose issu du lait de chèvre et de brebis se digère mieux que celui du lait de vache. »

(1) France AgriMer - Kantar, 2020.

(2) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

(3) Cheese consumption and risk of cardiovascular disease: a meta-analysis of prospective studies, Chen GC. et al, *European Journal of Nutrition*, 2017.

(4) Biomarkers of dairy fat intake, incident cardiovascular disease, and all-cause mortality: A cohort study, systematic review, and meta-analysis, Trieu K. et al, *Plos Medicine*, 2021.

(5) Produits laitiers et santé osseuse, Rizzoli R., *Médecine des maladies métaboliques*, 2020.

(6) Highlighting the microbial diversity of 12 French cheese varieties, Dugat-Bony E. et al, *International Journal of Food Microbiology*, 2016.

(7) Biodiversity of the Surface Microbial Consortia from Limburger, Reblochon, Livarot, Tilsit, and Gubbeen Cheeses, Cogan TM. et al, *Microbiology Spectrum*, 2014.

Les besoins en sommeil varient selon les âges : de 7 à 8 heures en moyenne par 24 heures pour un adulte et de 14 à 18 heures par jour pour un nourrisson.

©PLAINPICTURE

Cinq questions pour comprendre le sommeil

Il occupe un tiers de notre vie. Mais sait-on vraiment à quoi il sert, et quels sont les risques si l'on ne dort pas assez ?

Par Émilie Gillet, avec Agence Forum News

1 Pourquoi dort-on ?

À tout âge, le sommeil remplit des fonctions physiologiques essentielles. De multiples études ont ainsi montré qu'il est indispensable au fonctionnement de notre mémoire, et notamment à la consolidation des apprentissages. Par ailleurs, pendant que nous dormons, le corps secrète certaines hormones spécifiques qui sont utiles à la régénération cellulaire, mais aussi à la régulation de l'humeur, au fonctionnement du système immunitaire ou au contrôle de l'appétit. Les besoins varient selon les âges : de 14 à 18 heures par 24 heures pour un nourrisson, 8 à 11 heures pour un adolescent, et 7 à 8 heures en moyenne pour un adulte. Mais on estime aussi que 5 à 10 % de la population des plus de 18 ans serait composée de petits dormeurs, qui se contentent de 4 à 6 heures de sommeil par nuit, et de gros dormeurs qui, eux, ont besoin de plus de 9 heures pour se sentir en forme le lendemain.

2 Le manque de repos a-t-il des conséquences sur la santé ?

C'est justement parce que le sommeil remplit de nombreuses fonctions que nous mettons en danger notre santé lorsque nous ne dormons pas assez. Il y a d'abord les risques à court terme : somnolence, troubles de la concentration et baisse de vigilance, qui peuvent entraîner des accidents de la route ou du travail mais aussi agir sur l'humeur et donc les interactions sociales. Lorsque le manque de sommeil est chronique, les retentissements portent sur tout l'organisme : cette carence perturbe la sécrétion de certaines hormones digestives avec pour conséquence un risque de surpoids et de diabète. Il y a aussi un risque accru de maladies cardio-vasculaires (hypertension, infarctus du myocarde, accident vasculaire cérébral…), même si les mécanismes sont encore mal compris. Enfin, le manque de sommeil perturbe le fonctionnement du système immunitaire, ce qui peut favoriser des maladies infectieuses voire certains cancers.

3 Quels sont les liens entre lumière et sommeil ?

La lumière naturelle, et sa grande variété de longueurs d'onde, est un puissant synchroniseur de l'horloge biologique interne. S'y exposer régulièrement a une influence sur la qualité du sommeil : il a été montré par exemple qu'une exposition prolongée à la lumière solaire dans la journée peut retarder l'endormissement ou bien qu'une exposition précoce tôt le matin peut avancer l'heure du réveil. Mais nous sommes aussi sensibles à des longueurs d'onde précises, et donc à certaines lumières artificielles de couleur particulière. En 2006,

Une situation qui se dégrade avec la crise sanitaire. 66 % des Français déclarent en 2021 avoir eu des problèmes de sommeil dans les huit derniers jours contre 49 % en 2017. **6 h 42 min :** le temps de sommeil moyen des adultes français (2017).

SOURCES : SONDAGE IFOP POUR TOUSAULIT.COM, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE

Arkopharma
LABORATOIRES

L'intelligence de la nature pour votre santé

ARKOPHARMA N°1 de la PHYTOTHÉRAPIE en FRANCE*

ARKOGÉLULES® PASSIFLORE BIO

1 PLANTE, 0 SUPERFLU

AB AGRICULTURE BIOLOGIQUE

100 % DES ACTIFS DE LA PLANTE
pour vous aider à retrouver un sommeil de qualité et réparateur.

Hautement concentré
à 22 mg de flavonoïdes

Complément alimentaire disponible dans votre pharmacie

- Plante d'origine MAÎTRISÉE
- Titrage GARANTI
- Gélules 100% VÉGÉTALES
- SANS colorant ni additif chimiques
- SANS utilisation d'OGM**
- Convient aux VEGANS

**Conformément à la réglementation en vigueur sur le mode de production biologique

ArkoClub Rejoignez notre programme fidélité - **www.arkoclub.fr**

Trouvez votre plante avec : myphytopartner.com

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE. WWW.MANGERBOUGER.FR

© Graffiti studio - 06 99 41 79 05 - *IQVIA – PharmaOne Pharmatrend & Paratrend - Marché des compléments alimentaires en Pharmacies et Parapharmacies des références de phytothérapie de la classe OTC 18 - Année 2020 - en valeur et volume.

SYLVIE BONIN-GUILLAUME

PR SYLVIE BONIN-GUILLAUME,
GÉRIATRE À L'HÔPITAL SAINTE-MARGUERITE (AP-HM, MARSEILLE), PRÉSIDENTE DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE GÉRIATRIE ET GÉRONTOLOGIE

« Il est possible d'arrêter les somnifères »

Les seniors consomment-ils trop de somnifères ?
Oui ! En 2015, d'après l'Agence nationale de sécurité des médicaments (ANSM), les plus de 65 ans représentaient 36 % des consommateurs, alors qu'ils ne sont que 19 % de l'ensemble de la population française. Si cette part de consommateurs âgés diminue depuis quelques années, elle est encore trop importante et sur des périodes trop longues. Rappelons que les recommandations officielles stipulent une durée de traitement de quelques jours à quatre semaines maximum.

Quels sont les risques ?
À court terme, la consommation de somnifères augmente les risques de chutes, accidents de la route, somnolence et altération de la vigilance, vertiges et confusion.
À plus long terme, si cette consommation devient chronique, elle accroît le risque de démence et de troubles neurologiques. C'est d'autant plus important que certains seniors consomment plusieurs benzodiazépines, ces médicaments qui agissent sur le sommeil mais aussi contre l'anxiété, les convulsions ou les spasmes musculaires. Or, les effets secondaires se cumulent.

Mais que faire lorsque le sommeil se dégrade avec l'âge ?
Trois choses importantes à retenir : d'abord il est normal qu'en vieillissant notre sommeil change, cela ne signifie pas pour autant qu'on souffre d'insomnie. En général, en adoptant une bonne hygiène de vie, avec de l'activité physique régulière et une exposition à la lumière naturelle, on peut améliorer la qualité de son sommeil. Ensuite, garder en tête que les somnifères peuvent être envisagés, à condition qu'il s'agisse de faire face à un problème ponctuel. Enfin, si on en consomme depuis plusieurs mois ou plusieurs années, il est tout à fait possible de diminuer voire d'arrêter, avec l'aide de son médecin. ■ **Propos recueillis par É. G.**

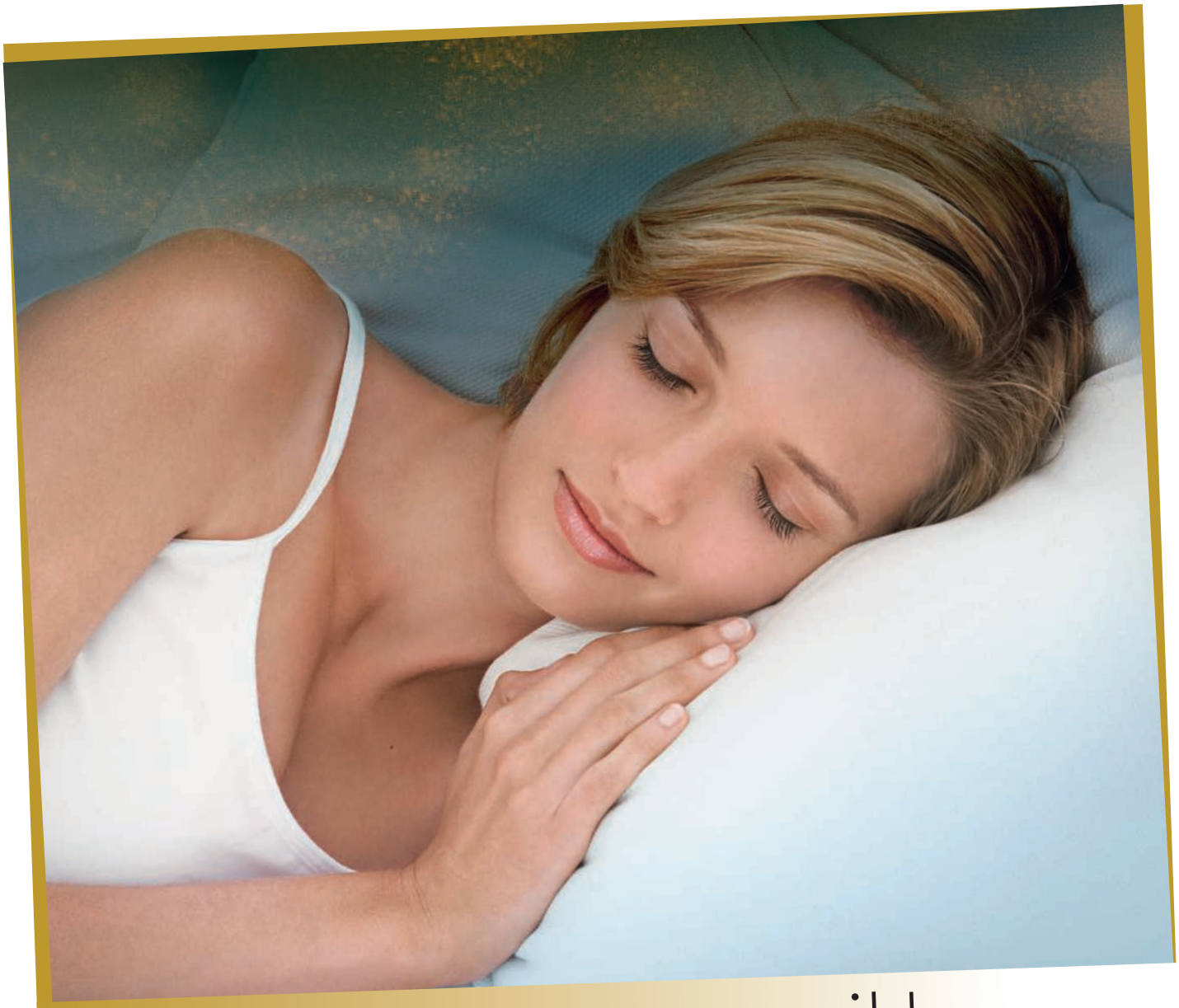
des chercheurs des universités Harvard et Thomas-Jefferson (États-Unis) ont ainsi montré que l'effet d'éveil maximal est obtenu avec une lumière bleue (environ 460 nanomètres de longueur d'onde). Or c'est cette couleur qui prédomine sur les écrans des smartphones et des tablettes. C'est pourquoi il est vivement déconseillé de les utiliser dans les deux heures qui précèdent le coucher. À l'inverse, certains experts suggèrent qu'une lumière rouge orangé pourrait faciliter l'endormissement, bien qu'aucune étude n'en ait pour l'instant apporté la preuve.

4 Qu'en est-il de la mélatonine ou du CBD ?

On l'appelle l'hormone du sommeil car elle favorise l'endormissement, mais la mélatonine, sécrétée par une glande nichée au cœur du cerveau, module aussi l'humeur, la température corporelle, la motricité intestinale, et possède par ailleurs une action pro-inflammatoire. Il existe des compléments alimentaires contenant de la mélatonine : attention, s'ils sont utilisés dans de mauvaises conditions ou à des dosages inadéquats, ils peuvent conduire à des effets indésirables comme des maux de tête, de l'irritabilité, des douleurs intestinales ou de la somnolence. En 2018, l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses) a vivement déconseillé leur usage sans avis médical, ainsi qu'aux femmes enceintes, aux adolescents et aux personnes souffrant de maladies inflammatoires ou auto-immunes. Elle recommande d'autre part de se limiter à un usage ponctuel. Enfin, pour être efficace, la mélatonine doit être prise dans l'après-midi ou en début de soirée, et non pas juste avant le coucher.
Quant au cannabidiol, ou CBD, que l'on peut retrouver sous forme d'huile ou dans certaines variétés de cannabis dénué d'effet psychotrope, les études n'ont pas confirmé pour l'instant son intérêt pour améliorer l'endormissement ou la qualité du sommeil.

5 Surveiller son sommeil, une bonne ou mauvaise idée ?

Aux personnes qui se plaignent régulièrement d'avoir un sommeil de mauvaise qualité, il est conseillé de tenir un agenda du sommeil pour avoir une vision objective de ces troubles, et en parler avec leur médecin. Cet agenda est à compléter à chaque réveil, afin de décrire le déroulement de la nuit, et chaque soir pour reporter comment s'est passée la journée et s'il y a eu des problèmes de vigilance. *« Vous remplirez cet agenda pendant trois semaines minimum. S'il vous est possible de le remplir à la fois sur une période de travail et une période de vacances, vous aurez beaucoup plus d'informations »*, signale le réseau Morphée, qui regroupe des professionnels de santé spécialistes du sommeil. Il propose d'ailleurs sur son site un modèle d'agenda.
Mais s'il n'y a aucune plainte particulière, rien ne sert de se surveiller, notamment avec des applications dédiées ou des objets connectés. Car on risque alors l'orthosomnie : quand la quête du sommeil parfait empêche de bien dormir... ■



Solgardez votre sommeil !

Le flacon d'or Solgar contient de la mélatonine qui contribue à réduire le temps d'endormissement et les effets du décalage horaire.

En pharmacies et magasins de diététique.

SOLGAR
Since 1947

Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour. www.mangerbouger.fr

Solgar.fr

CREATED BY G.JELLESTADSTORY.NO. ØSTFOLD UNIVERSITY COLLEGE. VIKEN COUNTY COUNCIL. INSTITUTE FOR ENERGY TECHNOLOGY AND NORDIC MEDIA LAB

Le bateau viking de Gjellestad (en haut), enterré avec une chambre funéraire en son sein (au milieu), est resté invisible parmi un ensemble de tertres et de maisons (en bas) jusqu'à sa découverte en 2018 (images tirées de la reconstitution virtuelle sur sciav.fr/901viking).

Vikings

Des bateaux-tombes pour l'ultime voyage des guerriers

Cela faisait cent ans qu'aucun navire funéraire viking n'avait été découvert en Norvège. Détecté en 2018, celui de Gjellestad a été patiemment sorti de terre et commence à dévoiler ses secrets. Les chercheurs comprennent mieux l'histoire et les rites entourant ce passage symbolique vers le paradis des guerriers.

Par Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

Entrelacs de monstres stylisés sculptés sur les coques, têtes de dragon ornant les proues… Appelés *skip*, *skeiô*, *snekkja* ou *knörr*, les navires scandinaves demeurent le symbole de l'ère viking (VIIIe-XIIe siècles). Et une coutume réservée à certains chefs, hommes et femmes, leur offrait d'être enterrés avec leur bateau. Une pratique dont peu de preuves nous sont parvenues. Aussi, la découverte réalisée en 2018 dans le sud-est de la Norvège est vraiment exceptionnelle. À Gjellestad, non loin de la commune de Halden, une embarcation viking avait été enterrée vers l'an 800 dans un tertre de 32 mètres de diamètre. Elle est depuis restée invisible, ensevelie sous les rondeurs herbeuses d'un tumulus. Jusqu'à ce que des relevés géophysiques réalisés à l'aide d'un radar à pénétration de sol (GPR) ne trahissent sa présence. La campagne de fouilles qui s'est ensuivie livre aujourd'hui ses résultats.

Transporté sur des rondins depuis une rivière proche, le bateau avait été déposé au fond d'une fosse. Une lourde tâche qui a dû mobiliser un grand nombre d'animaux de trait et de personnes. Peut-être des esclaves (*traells*). Une chambre funéraire a ensuite été dressée sur le pont du bateau pour accueillir la dépouille du défunt. Puis des cérémonies ont été accomplies avant que l'ensemble ne soit recouvert d'une épaisse couche de terre agencée de façon à ne pas écraser le navire et préserver son intégrité. Des siècles s'étant écoulés, le temps a fait son œuvre. Dès les premiers coups de truelle en 2019, le bateau a été retrouvé dans un état de dégradation avancé, et Christian Løchsen Rødsrud, chercheur à l'université d'Oslo (Norvège), n'a eu de cesse de faire accélérer les fouilles pour que soit recueillie la plus grande quantité d'informations possible, avant que l'ensemble ne disparaisse sous l'avancée destructrice de microscopiques champi-

gnons. Chef du projet d'étude du navire de Gjellestad, ce spécialiste a extrait tous les vestiges sous forme de blocs de terre pour effectuer une analyse minutieuse des sédiments dans les laboratoires du musée d'Histoire culturelle d'Oslo. À Gjellestad ont ainsi été découverts des fragments d'alliage de fer et de cuivre issus de la chambre funéraire, des éléments de coffre ainsi que des ferrures et des centaines de rivets et de clous provenant des assemblages à clin de la coque (technique utilisée par les charpentiers vikings pour faire chevaucher le bord de la planche supérieure sur celui de la planche inférieure). « *Pour conserver la structure du navire et permettre sa reconstruction en 3 D, l'emplacement de chaque clou a été méticuleusement positionné* », explique Christian Løchsen Rødsrud.

CHRISTIAN LØCHSEN RØDSRUD

« Un modèle numérique du navire nous permettra d'envisager sa reconstruction »

Christian Løchsen Rødsrud, chercheur au musée d'Histoire culturelle de l'université d'Oslo (Norvège), responsable des fouilles

Jusqu'à la mise au jour du bateau de Gjellestad, en 2018, seuls deux navires-sépultures vikings avaient été dégagés en Norvège. Celui de Gokstad (remontant à l'an 910), à Sandefjord, par Nicolay Nicolaysen, en 1880, et celui d'Oseberg (enterré en 834), par Gabriel Gustafson, en 1904. Le premier, qui a dû servir à la navigation hauturière, était le tombeau d'un homme, auprès duquel ont été exhumés les restes de deux paons et deux rapaces. À l'extérieur du navire gisaient 12 chevaux et sept chiens. Quant au bateau-tombe d'Oseberg, long de 21 mètres, il a livré d'impressionnants vestiges parmi lesquels 15 chevaux, quatre chiens, deux bœufs, des traîneaux et une immense quantité de matériel organique, dont des textiles précieux. En 1948, les restes humains de deux femmes de haut rang y ont été également découverts. Ces personnages étaient peut-être

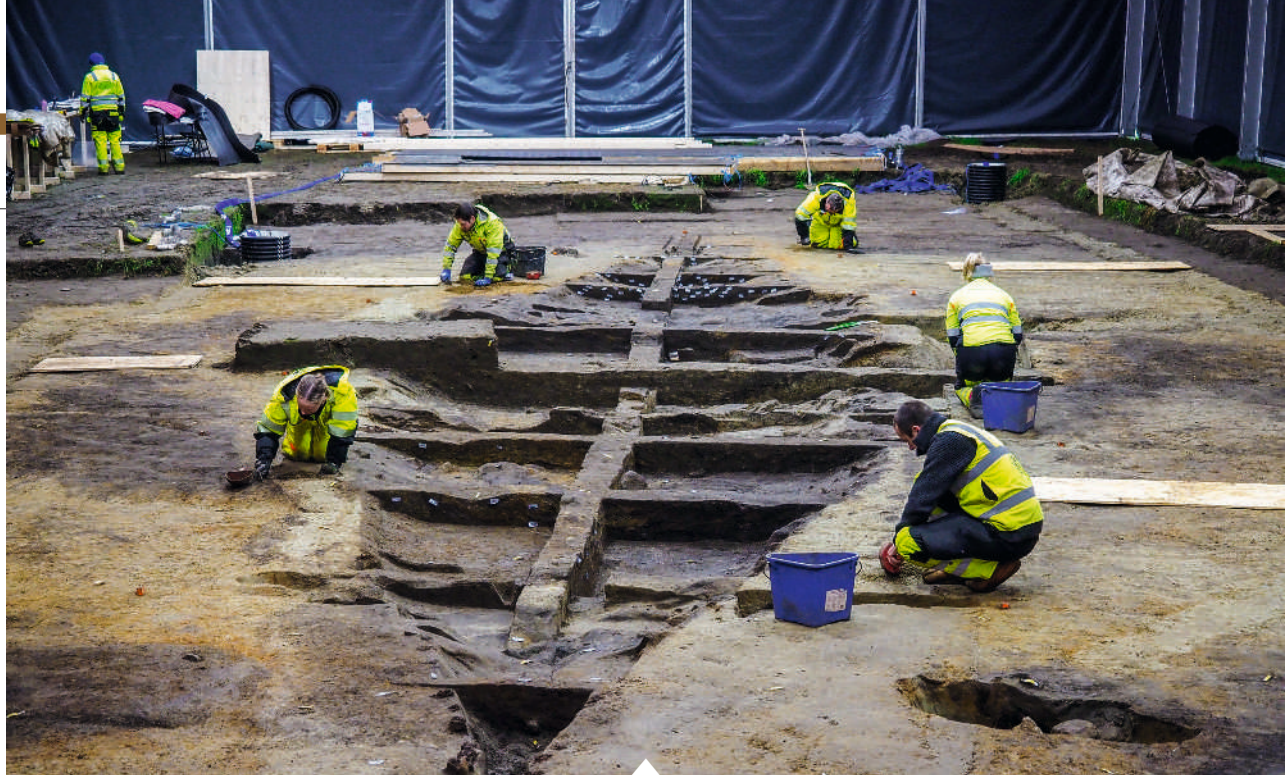
NAVIGATION

Une tradition scandinave très ancienne

La situation géographique des pays scandinaves, avec leurs longues côtes, leurs lacs et leurs cours d'eau, a rendu les voyages sur l'eau indispensables depuis des milliers d'années. L'usage de grands bateaux dès le IIe millénaire avant notre ère y est connu à la fois grâce aux fouilles archéologiques et aux gravures préhistoriques figurant sur des stèles.
Le bateau de Nydam, le plus ancien bateau à rames d'Europe, a été exhumé en 1863 dans le sud du Jutland (Danemark). Avec ses 24 mètres de long, il avait été construit à partir de bois de chênes abattus entre 310 et 320 de notre ère. Sur ses plats-bords furent retrouvées les traces de 28 goupilles pour guider les rames. Il ne portait ni voile, ni mât. Et c'est sans doute avec ce genre de navire que, selon Grégoire de Tours (538-594), le roi danois Hugleik attaqua les côtes franques vers 520.
Les navires vikings tels que nous les connaissons se sont surtout développés entre 500 et 800, avec le passage de l'aviron à la voile carrée, pour des embarcations qui pouvaient bien entendu toujours être propulsées par rames. D'énormes flottes vikings existaient au XIIe siècle, reflet d'importants investissements en main-d'œuvre, mais aussi en bois et en fer, ainsi qu'en lin et en laine pour les voiles, en goudron pour le calfatage, sans compter les matériaux pour le gréement (agrès, cordages, mâture, etc.). Des éléments qui témoignent de la grande organisation (et les ressources considérables) que nécessitaient la construction, l'armement et l'entretien des navires au sein de ces sociétés de guerriers et de marchands scandinaves.

AKG IMAGES

Stèle ornementale sur laquelle figure un grand bateau viking (VIIIe-IXe siècle).



MARGRETHE K. H. HAVGAR / AFP

Les archéologues norvégiens exhument les restes du bateau-tombe viking de Gjellestad, le 22 octobre 2020.

liés au premier roi de Norvège, Harald à la belle chevelure.

Même si, à l'instar des bateaux vikings d'Oseberg et Gokstad, le navire de Gjellestad a été victime des pilleurs, « *nous avons également pu recueillir de nombreux indices* » concernant les rituels qui s'y sont déroulés, précise Christian Løchsen Rødsrud. Dans la chambre funéraire, des dents de chevaux ont été collectées en quantité, ainsi que 560 ossements de bovidés. Ils témoignent de décapitations d'animaux, comme cela avait déjà été envisagé dans d'autres vestiges funéraires de l'élite viking. Quant aux os humains recueillis, ils apparaissent calcinés. En réalité, les pratiques dans les enterrements en navire étaient diverses. Certains défunts étaient brûlés — individuellement ou en groupes — et d'autres simplement enterrés.

Aider au transport des morts dans l'au-delà

Parmi les interprétations possibles de l'usage des bateaux dans les coutumes funéraires vikings, figure l'idée d'une aide au transport des morts dans l'au-delà. Cette forme d'inhumation en bateau, principalement connue pendant l'ère viking, était répandue non seulement dans toute la Scandinavie, mais aussi dans les régions colonisées par les Vikings, de l'actuelle Russie aux terres baltes jusqu'aux îles Britanniques. C'est ce que nous apprennent les fouilles archéologiques, mais aussi la poésie scaldique (des poètes scandinaves du Moyen Âge), ainsi que les récits des sagas islandaises.

MUSEUM OF CULTURAL HISTORY, NORWAY

Cette énorme perle d'ambre est une des surprises révélées par les fouilles ; elle pourrait provenir d'une épée.

Les fouilles de Gjellestad ont également apporté leur lot de découvertes inattendues. Au premier rang desquelles le bois utilisé pour le plancher du navire : du conifère et non du chêne comme observé dans les autres navires. Ensuite, l'empreinte rouillée d'une grande hache déposée sous la coque : s'agit-il des reliques d'un rituel ? Le bloc de terre qui la contenait sera prochainement scanné et passé aux rayons X. « *Pour nous, le plus important est la documentation globale du navire. Elle nous permettra de créer un modèle numérique de tous les vestiges, lesquels serviront plus tard de base à sa reconstruction.* [À l'instar de celle réalisée en 2000-2004 pour le navire *Skuldelev 2* trouvé au Danemark qui a permis de démontrer une extraordinaire navigabilité sur mer agitée.] *Nous avons des années de travail devant nous avec l'analyse du matériel rapporté au musée d'Histoire culturelle à Oslo,* ajoute Christian Løchsen Rødsrud. *Les découvertes par radiographie et tomodensitométrie, la conservation des artefacts et des restes du navire à venir font partie de nos priorités de recherche.* »

Et d'autres surprises sont attendues lors des examens en laboratoire. Des perles de couleur ont ainsi été entrevues dissimulées dans certains blocs de sédiments rapportés. L'une d'entre elles, une énorme perle d'ambre, a d'ores et déjà été extraite. « *Il pourrait s'agir d'une perle d'épée* », explique l'archéologue norvégien. Fascinés depuis longtemps par l'ambre à laquelle ils prêtaient des vertus protectrices, les Vikings comme leurs prédécesseurs ornaient leurs armes de ces perles. Attachées au fourreau par une cordelette, elles agissaient comme un charme magique. Celles récupérées sur le navire de Gjellestad pourraient avoir servi à protéger le défunt dans son voyage vers le Valhalla, le paradis des guerriers vikings. ■

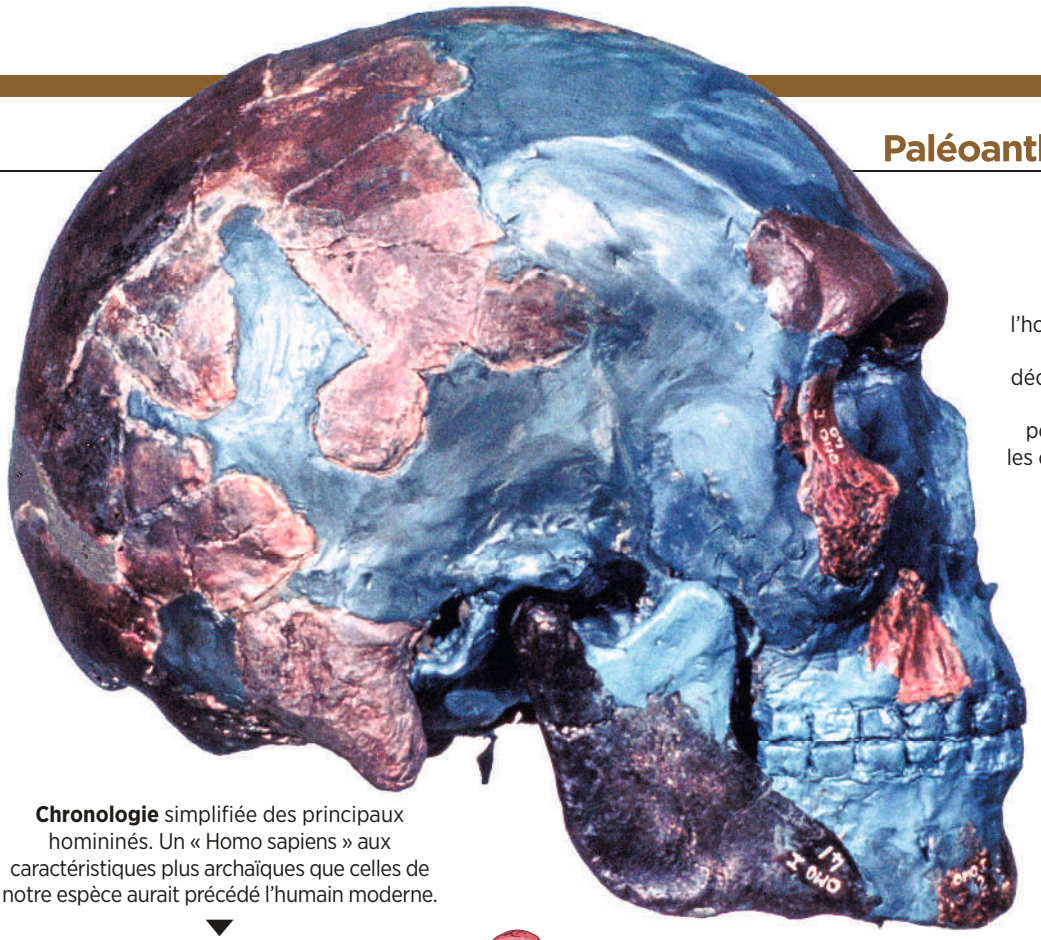
« Homo sapiens » prend un coup de vieux

L'âge de « l'homme de Kibish », le plus ancien fossile d'« Homo sapiens », vient d'être établi à 230 000 ans, soit un recul de 30 000 ans. Des chercheurs ont établi qu'il était contemporain d'une éruption volcanique, dont les cendres ont permis cette nouvelle datation.

Personne ne le conteste, il est le plus vieux fossile connu de notre espèce. Pour autant, les chercheurs peinent à établir son âge exact. Et ce, depuis sa découverte en 1967 par l'équipe du paléoanthropologue kenyan Richard Leakey. C'est près de Kibish, dans l'aride vallée de l'Omo, au sud de l'Éthiopie, que le crâne a été mis au jour. Durant environ quarante ans, « l'homme de Kibish », aussi appelé « Omo 1 », est daté de -130 000 ans. En 2005, son âge est revu à la hausse : d'après une étude des sédiments dans lesquels il reposait, il aurait plutôt 195 000 ans, peut-être 200 000 ans. Et voici qu'une nouvelle étude publiée à la mi-janvier dans la revue *Nature* le vieillit encore. Notre plus ancien ancêtre direct aurait ainsi foulé le sol de l'est de l'Afrique il y a plus de 230 000 ans. Pour arriver à ce résultat, l'équipe internationale de scientifiques dirigée par l'université de Cambridge (Royaume-Uni) a démontré que les restes d'Omo 1 devaient être plus anciens qu'une colossale éruption volcanique justement survenue il y a 230 000 ans près du site d'Omo Kibish.

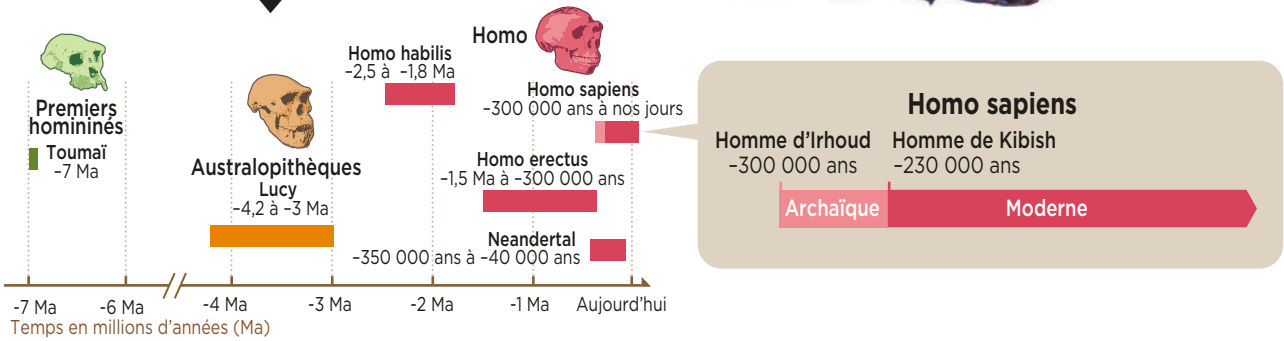
L'étude est importante car elle tend à réconcilier les datations des ossements découverts sur le terrain avec ce que dit la génétique. *« Depuis quelques années, des analyses génomiques vont dans le sens d'une apparition d'*Homo sapiens *plus précoce, autour de 300 000 ans,* explique Aurélien Mounier, paléoanthropologue au Muséum national d'histoire naturelle, l'un des auteurs. *Cela ne signifie pas forcément que notre espèce est aussi ancienne, mais les résultats que nous présentons tendent plus vers ce chiffre. Obtenir des preuves paléoanthropologiques se rapprochant de ce que nous dit la génétique est très encourageant.* » Encore faut-il être sûr que ces preuves sont fiables. L'une des meilleures manières d'estimer l'âge d'un fossile est de disposer de cendres volcaniques au sein des niveaux de sédiments, celles-ci pouvant être datées à 100 ans près grâce à la récente méthode argon-argon. Fréquemment utilisée en archéologie — elle le fut largement à Pompéi (Italie) —, elle permet d'estimer le temps écoulé depuis la cristallisation de la lave crachée par un volcan. Celle-ci ne contient pas naturellement d'argon, mais il réapparaît dans la roche formée par désintégration du potassium radioactif. Sa quantité donne ainsi l'âge de l'échantillon, l'analyse de deux isotopes de l'argon permettant *in fine* d'éliminer des biais liés à des apports ou des fuites de ce gaz après la formation de la roche.

Ainsi, lorsqu'un fossile repose entre deux couches de cendres correspondant à deux éruptions différentes, il est possible d'obtenir une fourchette



Le crâne de l'homme de Kibish ou Omo 1, découvert en 1967 en Éthiopie, possède toutes les caractéristiques de l'humain moderne.

Chronologie simplifiée des principaux homininés. Un « Homo sapiens » aux caractéristiques plus archaïques que celles de notre espèce aurait précédé l'humain moderne.



INFOGRAPHIES: BRUNO BOURGEOIS - NATURAL HISTORY MUSEUM / SPL / SUCRÉ SALÉ

d'âge. Le site d'Omo Kibish a justement l'immense avantage de regorger de cendres, les volcans étant nombreux alentour, mais il a aussi le défaut frustrant que celles-ci sont trop fines pour être exploitées par la méthode argon-argon. « *Les cendres y sont semblables à de la farine. Il nous faut des échantillons plus grossiers, comme des petites pierres ponces, pour faire appel à cette technique* », confirme la volcanologue Céline Vidal, directrice d'étude à Cambridge et première auteure de l'article. Aussi a-t-il fallu recourir à une autre approche. « *Chaque éruption volcanique a une empreinte géochimique unique,* poursuit la chercheuse. *Celle-ci est déterminée par le chemin qu'a suivi le magma. Une fois la roche broyée, on libère les minéraux qu'elle contient et on peut alors "lire" la signature chimique du verre volcanique qui maintenait les minéraux ensemble.* »

Le prochain défi : déterminer son âge maximum

C'est précisément ce qu'avait fait au début des années 2000 l'équipe menée par le géologue australien Ian McDougall : corréler la signature géochimique du niveau de cendres situé juste en dessous des fossiles à celle d'un autre niveau identifié plus loin, sur un même axe stratigraphique. Après avoir trouvé une correspondance avec ce deuxième échantillon estimé à -200 000 ans environ — lui présentait des pierres ponces qui ont pu être datées —, les chercheurs avaient ainsi conclu qu'Omo 1 avait tout au plus le même âge. « *Mais de l'aveu même de l'équipe, la relation stratigraphique entre les sédiments d'Omo 1 et cet autre niveau de cendres n'était pas très claire. De fait, ce résultat a toujours été considéré comme incertain* », poursuit Céline Vidal. Cette fois, la méthode employée semble incontestable. Dans le cadre d'un vaste programme de datation des éruptions survenues en Éthiopie il y a entre 300 000 et 60 000 ans — période durant laquelle nos ancêtres *Homo* se sont développés et ont migré à l'extérieur de l'Afrique —, Céline Vidal et ses collègues sont parvenus à identifier quel volcan, lors de son éruption, avait produit la couche de cendres recouvrant les restes d'Omo 1. « *Nous avons pu cette fois*

JOHN BAVARO FINE ART/SPL/SUCRÉ SALÉ

ÉVOLUTION

L'homme d'Irhoud, un « Homo sapiens » archaïque

En juillet 2017, un coup de tonnerre survient dans le monde de la paléoanthropologie : une équipe internationale dirigée par Jean-Jacques Hublin, de l'Institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste de Leipzig, (Allemagne)et le Marocain Abdelouahed Ben-Ncer annonce avoir trouvé sur le site de Djebel Irhoud, au Maroc, les restes de cinq individus datant d'environ -315 000 ans, repoussant ainsi de 100 000 ans l'âge de notre espèce. Mais si l'homme d'Irhoud *(reconstitution ci-contre)* marque incontestablement un nouveau jalon dans l'histoire humaine, il ne peut pas être considéré comme un fossile d'*Homo sapiens* à part entière. Pour Jean-Jacques Hublin, l'homme d'Irhoud montre plutôt qu'il existe un stade *H. sapiens* « archaïque », ces ossements présentant de nombreuses caractéristiques de notre espèce. *« Le crâne d'Omo 1, lui, a toutes les caractéristiques morphologiques de l'humain moderne, et son appartenance à* H. sapiens *n'a jamais fait débat,* détaille le paléoanthropologue Aurélien Mounier. *En réalité, dès les premières publications, le fossile d'Irhoud a été décrit comme un "néandertaloïde" : son neurocrâne n'a pas la forme haute et arrondie — la forme globuleuse — que l'on retrouve chez les hommes que nous sommes, et de la même manière sa mandibule n'a pas de menton.* »

analyser les grosses pierres ponces récoltées près du volcan pour dater l'éruption par argon-argon et corréler leur empreinte chimique avec celles du niveau de cendres situé au-dessus des ossements. » Conclusion : les fossiles d'Omo 1 ont été recouverts par de la cendre produite lors d'une éruption survenue il y a 230 000 ans environ. Il est ainsi possible d'affirmer que l'individu a au minimum le même âge, peut-être bien plus !

Le résultat est exceptionnel car environ 300 kilomètres séparent le volcan Shala d'Omo Kibish. *« En sachant également que les fossiles se trouvaient sous deux mètres de cendres, nous pouvons affirmer que l'éruption a été colossale, proche d'une centaine de kilomètres cubes de magma. À côté, l'éruption qui a détruit Pompéi était toute petite — même si elle fut catastrophique* », conclut la volcanologue.

Maintenant que l'on connaît l'âge minimum d'Omo 1, le prochain défi est de déterminer un âge maximum. *« Le scénario parfait serait évidemment d'obtenir la fourchette la plus réduite possible* », confie Céline Vidal. Pour cela, il faudra établir une correspondance entre une éruption précise survenue dans la région, à l'instar de celle du volcan Shala, et une couche de cendres placée sous les restes, et non plus au-dessus. *« Plus nous identifierons d'éruptions dans le cadre de nos recherches, plus nous trouverons de candidats potentiels* », ajoute-t-elle.

Les chercheurs ne désespèrent pas non plus de découvrir de nouveaux fossiles attribués à ces tout premiers *sapiens*. Des fossiles qui pourraient non seulement être plus anciens encore et se rapprocher des 300 000 ans prédits par la génétique, mais qui seraient de plus exhumés avec les méthodes et outils actuels. *« Plus d'un demi-siècle s'est écoulé depuis la découverte d'Omo Kibish. Ce laps de temps rend malheureusement son contexte de découverte propice aux ambiguïtés* », regrette Aurélien Mounier. Reste à continuer de chercher. Comment ? *« Il n'y a qu'une chose à faire : marcher, en espérant poser son regard au bon endroit* », conclut le paléoanthropologue. ■

Marine Benoit @marin_eben

CÉLINE VIDAL

« Nous avons pu corréler l'empreinte chimique des pierres ponces récoltées près du volcan avec celles des cendres situées sur le fossile »

Céline Vidal, volcanologue à l'université de Cambridge (Royaume-Uni), principale auteure de l'étude

Jeanne, 71 ans,
vient de faire remplacer
sa baignoire par une douche sécurisée
tout en profitant du service de pose
LEROY MERLIN.

VU À LA TV

FABRIQUÉ EN FRANCE

Douche tout équipée, livrée à domicile

• • •

Posée en 1 journée

• • •

Installation sans gros travaux

Konfordouche par Kinedo

En partenariat avec

LEROY MERLIN

Rendez-vous en magasin
ou sur **leroymerlin.fr**

TRANSVERSALES

SOMMAIRE

▶ C'est à lire
p. 88

▶ C'est à voir
p. 92

▶ Le ciel du mois
p. 93

▶ Chroniques
p. 94

▶ Questions de lecteurs
p. 96

▶ Solutions des jeux
p. 97

▶ Jeux
p. 98

SHUTTERSTOCK

Les sapins de Douglas échangent avec d'autres essences des éléments nutritifs.

Comment les arbres coopèrent

Dans « À La Recherche de l'arbre-mère », la biologiste canadienne Suzanne Simard dévoile les riches interactions au sein des forêts.

ÉCOLOGIE Voilà une fabuleuse leçon de vie. Celle d'une chercheuse tenace qui a « *les arbres dans le sang* », pionnière dans les études sur la communication entre les végétaux. Qui a réussi à transformer ses intuitions en certitudes, grâce à un approfondissement admirable de connaissances précisément documentées ici. Suzanne Simard, biologiste et professeure d'écologie forestière, a longtemps œuvré au service des forêts de Colombie-Britannique (Canada), écartelée entre sa propre vision des arbres et celle à courte vue des exploitants du bois, résumée selon ses mots à « *coupons-tout-et-barrons-nous* » ! Elle en éprouvera frustration et humiliation, mais aussi joies débordantes et reconnaissance des pairs.

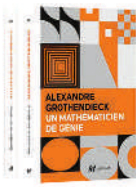
Face à la pratique de la coupe rase et des monocultures, elle se pose la question des bénéfices apportés par la coopération entre feuillus et conifères. La révélation du rôle crucial exercé par la symbiose entre champignons et système racinaire — la mycorhize — la conduit à une série de découvertes extraordinaires. Les bouleaux et les sapins de Douglas échangent grâce à ce réseau les éléments nutritifs selon des besoins saisonniers. Il en est de même pour les aulnes et les pins tordus, tandis que le douglas et pin ponderosa s'envoient des alertes lors d'attaques d'insectes, sous forme d'émission de molécules apparentées à nos neurotransmetteurs. Les arbres reconnaissent leur parentèle, et les plus anciens et majestueux protègent la croissance des jeunes : ce sont les « arbres-mères », plaques tournantes d'un univers d'interrelations. Traversé d'un profond sens de responsabilité à l'égard de la forêt, ce « *tout indivisible* » empli d'intelligence, son récit est enthousiasmant. ■

Andreina De Bei

À La Recherche de l'arbre-mère. Découvrir la sagesse de la forêt, Suzanne Simard, Dunod, 464 p., 24,90 € (sortie le 9 mars)

Dans la tête de Grothendieck

INTROSPECTION Ces réflexions et témoignage ont été écrits par un mathématicien mythique. Après une carrière fulgurante, Alexandre Grothendieck (1928-2014) s'est retiré du monde en 1970, menant une vie d'ermite dans un village de l'Ariège. Il s'agit ici de sa propre introspection, volumineux texte rédigé entre 1983 et 1986.



Un document monumental mêlant méditation sur l'existence, divagation mathématique et règlement de compte avec le milieu mathématique jugé peu éthique. ■ **Ph. P.**

Récoltes et semailles I et II, Alexandre Grothendieck, Gallimard, 2652 p., 29,50 €

Géniale équation

INVENTION Derrière sa simplicité formelle, la plus célèbre des équations de la physique cache une théorie complexe : la relativité restreinte, publiée par Albert Einstein en 1905 puis complétée par la relativité générale en 1915.

L'astrophysicien Alain Riazuelo nous fait découvrir sa genèse dans un texte dont le mérite est de raconter avec limpidité la fabuleuse aventure dont « $E = mc^2$ » est le fruit. Son invention reste le produit d'une accumulation de découvertes, sur la nature de la lumière et l'électromagnétisme, qui avait préparé le terrain à sa géniale intuition. ■ **F. N.**

Pourquoi $E = mc^2$, Alain Riazuelo, HumenSciences, 480 p., 18 €

Surprenants animaux

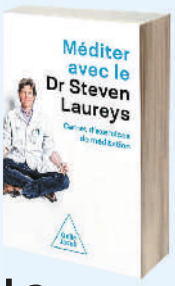
ÉTHOLOGIE Chez les hyènes, où les clans sont dominés par les femelles, nombreux sont les petits de sexe masculin qui, plutôt que de partir en quête d'une nouvelle meute à l'âge adulte, préfèrent rester auprès de leur mère le plus longtemps possible. Et pour cause : cela leur assure une existence confortable, notamment un accès sécurisé à la nourriture ! Ce comportement animal amusant et une multitude d'autres (touchant à la défense contre les prédateurs, aux migrations, à la séduction, etc.) nous sont racontés avec brio dans ce beau livre, aussi accessible que documenté. ■ **V. G.**

Un Tanguy chez les hyènes, François Verheggen, Delachaux et Niestlé, 192 p., 22,90 €

Ode à la créativité

LUDIQUE Rubik's Cube. C'est sans aucun doute l'un des jeux les plus célèbres du monde. À l'origine de ce concept génialement simple — un casse-tête à 3 dimensions —, un Hongrois passionné de géométrie et de puzzles du nom d'Ernö Rubik. Un brin désordonné, mais plein d'humour et de fantaisie, le récit qu'il nous livre de son invention, mise au point en 1974, dessine une ode personnelle à la curiosité, à la créativité et à l'imagination. Captivant. ■ **V. G.**

Le cube qui a conquis le monde, Ernö Rubik, Flammarion, 296 p., 20 €



La méditation selon un neurologue

INITIATION Difficile d'y échapper : la méditation a le vent en poupe. Mais parmi la prolifération de livres et applications pour smartphone, c'est un éminent neurologue qui cette fois se propose de nous initier à la pratique. Steven Laureys, directeur du Centre du cerveau au CHU de Liège (Belgique), livre ici 30 exercices de ce qu'il appelle une « gymnastique mentale » susceptible de réduire stress et anxiété, d'améliorer le sommeil ou encore de soigner ses capacités d'attention. Le neurologue renoue avec la simplicité quasi enfantine de la méditation : redécouvrir sa respiration, apprécier un bon chocolat... Et ça fonctionne ! Un regret : ne pas voir l'auteur articuler la pratique de ces exercices à ce que la neurologie a appris des effets de la méditation sur le cerveau. Mais c'est peut-être ce qui fait de ce petit carnet un excellent moyen de se mettre à méditer. ■ **Hugo Jalinière**

Méditer avec le Dr Steven Laureys. Carnet d'exercices de méditation, Steven Laureys, Odile Jacob, 208 p., 14,99 €

Portrait-robot de l'« alien »

ÉVOLUTION À quoi pourrait bien ressembler un *alien* ? Pour certains scientifiques, les formes de vie qui existeraient sur d'autres planètes seraient trop différentes — « trop » extraterrestres précisément — pour être appréhendées. Spécialisé en communication animale à l'université de Cambridge (Royaume-Uni), l'auteur est convaincu du contraire. *« Face à l'inconnu, la prudence est effectivement de mise,* rappelle-t-il en préambule. *Nous avons toutefois de bonnes raisons de nous montrer confiants ; il suffit d'identifier les lois de la biologie qui sont réellement universelles de la même manière que les lois de la physique le sont. »* Le zoologiste détaille ainsi une série de règles biologiques fondamentales qui, sur les exoplanètes, s'appliqueraient : sélection naturelle, reproduction, recherche de nourriture, mouvement ou encore coopération. En exploitant au maximum cette approche, il tire des conclusions plausibles sur la vie extraterrestre en général et la vie intelligente en particulier. Une réflexion aussi fascinante qu'accessible sur ce qui constitue, aussi, notre humanité. ■ **Franck Daninos**

La Vie extraterrestre. Un guide à l'usage du voyageur galactique, Arik Kershenbaum, Flammarion, 384 p., 23,90 €

Passion requins

DÉMYSTIFICATION Lady Mystery, grand requin blanc femelle, a subjugué François Sarano : *« Cinq mètres de muscles, une tonne d'élégance. »* Et lui a offert quelques instants de pure communion, de nage côte à côte, lors du tournage du film *Océans* de Jacques Perrin, en 2006. Cet océanographe nous prodigue à son tour les perles d'une immense connaissance du monde sous-marin, dans un livre dédié à la réconciliation avec celui que l'on considère de façon réductrice comme la terreur des mers. Que savons-nous des chondrichtyens, poissons cartilagineux dont on compte 536 espèces ? Nous sommes ici invités à devenir « squalanthropes », mi-humains mi-requins, afin de partager leur perception du monde, de nous donner la chance du partage. Après un éclairage historique du mythe du requin assassin, l'auteur nous mène, au gré d'innombrables plongées, à la découverte de son identité et de ses fragilités. ■ **Andreina De Bei**

Au nom des requins, François Sarano, préface de Sandra Bessudo, Actes Sud, 304 p., 21 €

« 1984 » illustré

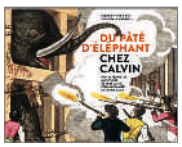
BD *Big Brother is watching you !* Depuis qu'il l'a découvert à 15 ans, le roman *1984* de George Orwell n'a jamais quitté Xavier Coste. Dans une Angleterre uchronique où la surveillance des citoyens fait peser une ambiance déshumanisée, le héros

Winston, employé de bureau du ministère de la Vérité, rencontre Julia et en tombe amoureux… Avec un style reflétant l'univers glaçant du roman, l'auteur livre une adaptation BD impressionnante, fruit de trois ans de travail. L'œuvre a reçu le prix Fnac France Inter 2022. ■ **H. R.**

1984, Xavier Coste, Sarbacane, 224 p, 30 €

Le triste destin d'une éléphante star

ÉCLAIRAGE *« Dire que cet éléphant a été tué à Genève. Et au canon en plus. »* Cette phrase entendue au muséum d'Histoire naturelle de Genève (Suisse) est à l'origine de ce livre consacré à Miss Djeck. Éléphante de spectacle, elle a fini tragiquement sa carrière en 1837 dans la cité de Calvin. Ayant piétiné un pasteur — qui en sort indemne —, la justice



exige son exécution. Et au boulet de canon ! Au-delà de ce triste destin, le livre décrit comment les bêtes exotiques ont été considérées comme des marchandises. Éclairant, alors que leur présence dans les cirques fait aujourd'hui débat. ■ **O. L.**

Du pâté d'éléphant chez Calvin, Pierre-Yves Frei, Sandra Marongiu, édition Savoir Suisse. 230 p., 22,50 €

La bible du diabète

GUIDE Le Centre européen d'étude du diabète, l'un des meilleurs centres de recherche

sur la maladie en Europe, a convoqué ses chercheurs pour réaliser ce guide pratique à destination des patients et de leur famille. Des origines de la maladie dans l'Antiquité jusqu'à l'explosion de l'incidence au XXIe siècle, cette synthèse pointue n'élude aucune question. Outre les nombreux conseils, l'ouvrage développe les dernières avancées de la recherche, jusqu'à l'hypothèse d'une thérapie curative qui n'a jamais été aussi proche. ■ **H. J.**

Le diabète. Mieux le comprendre pour mieux le vivre, Pr Michel Pinget et Dr Michel Gerson, John Libbey Eurotext, 254 p., 19 €

500 000 ans d'aventure culinaire

BD La cuisine ? La *« manifestation de la domination du genre* Homo *sur Terre »*, selon la définition

qu'en donnent les auteurs de cette BD retraçant 500 siècles derrière les fourneaux. Le voyage permet de passer des pains au levain de l'Égypte ancienne — ronds, carrés… ou de pyramides ! — à l'invention des corn flakes par le Dr Kellogg en passant par les menus de Louis XIV. Très documenté et roboratif. Petit plus : le cahier de recettes final, histoire de passer à la pratique. ■ **O. L.**

L'Incroyable Histoire de la cuisine, Stéphane Douay et Benoist Simmat, Les Arènes BD, 238 p., 22 €

La tentation du pôle Sud

EXPLORATION Ernest Shackleton a toujours cru en sa bonne étoile, ce qui l'a amené tout au long de sa vie à prendre des risques et à relever le défi de la conquête du pôle Sud en 1907 (expédition Nimrod), puis entre 1914 et 1917 à bord de l'*Endurance*. En réalité, ses aventures antarctiques — comme ses affaires financières — ont toujours joué de malchance : en 1909, il rebrousse ainsi chemin à moins de 200 km du Pôle… Mais l'explorateur britannique, surnommé « le boss » par ses marins, a réussi à chaque fois à ramener tous ses équipiers vivants plutôt que d'arracher une conquête au prix fort, payé notamment par son compatriote Robert Falcon Scott en 1912. La biographie de ce meneur d'hommes est l'occasion pour Mirella Tenderini de décrire une période héroïque de l'exploration du continent blanc, qui a vu des hommes ne sachant même pas skier, des chiens s'enfonçant dans la neige et des poneys chaussés de raquettes débarquer sur les territoires glacés des manchots. Ce récit paraît à l'occasion du centenaire de la mort de Shackleton, en 1922 en Géorgie du Sud. ■ **Sylvie Rouat**

Ernest Shackleton le boss, Mirella Tenderini, Paulsen, 216 p., 22 €

REJOIGNEZ **LE PREMIER PÔLE SCIENTIFIQUE** DE LA PRESSE FRANÇAISE

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

LE MENSUEL

LE HORS-SÉRIE

UNE INFORMATION THÉMATIQUE CLAIRE ET VIVANTE

Chaque trimestre, une thématique étudiée sous tous ses aspects, en compagnie des plus grands spécialistes.

39 JOURNALISTES PASSIONNÉS

19 PARUTIONS PAR AN

2,5 MILLIONS DE LECTEURS

2,6 MILLIONS DE SOCIO-NAUTES

7,3 MILLIONS DE VISITEURS SUR LE SITE

3 APPLICATIONS IOS/ANDROID

UNE VISION COMPLÈTE DE LA SCIENCE

Chaque mois, toute l'actualité scientifique, dans un langage accessible.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur sciencesetavenir.fr

2 SITES POUR DES INFOS EXCLUSIVES

La Recherche

LE TRIMESTRIEL

LA RÉFÉRENCE INCONTOURNABLE

Chaque trimestre, un panorama complet en 150 pages de la recherche scientifique.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur larecherche.fr

TOUTE L'ACTUALITE SCIENTIFIQUE QUOTIDIENNE

2 sites au service de l'actualité scientifique, de la plus accessible à la plus innovante. **Des articles quotidiens** pour être à la pointe de la science.

Vos questions en direct aux chercheurs chaque jeudi de 17H30 à 19H sur https://www.twitch.tv/sciencesetavenir/

plus de 2,2 millions de fans !

plus de 160 000 followers

plus de 163 000 instagrammeurs

Plus de 7 000 abonnés professionnels

plus de 17 000 abonnés

PROMINT-SCAV2

EXPOSITIONS

Bordeaux (33)

Venise la Sérénissime
Cette installation immersive s'appuyant sur des projections élaborées transforme la base sous-marine en cité des Doges. Le visiteur se retrouve au bord du Grand Canal et dans les ruelles de Venise, admirant l'architecture de la basilique Saint-Marc ou les œuvres du Tintoret et de Canaletto.
Bassins des Lumières, impasse Brown de Colstoun, jusqu'au 2 janvier 2023. Rens. : 05.35.00.00.90.

Mathissime
Les mathématiques intriguent, font parfois peur. Pourtant, elles ne sont qu'une manière de percevoir le monde. Surtout, tout le monde fait des mathématiques, même sans le savoir. C'est de ce postulat que part cette exposition. Comparaison, vérification, logique, toutes ces manières de réfléchir relèvent des mathématiques. L'approche est ici ludique, pour dédramatiser une matière finalement très familière.

Cap Sciences, hangar 20, quai de Bacalan, jusqu'au 1er mai. Rens. : 05 56 01 07 07.

Concarneau (29)

Le Marinarium
Ce lieu dépendant du Muséum national d'histoire naturelle a réouvert en février. Il est consacré à la faune et à la flore marine bretonne, avec plusieurs espaces thématiques (plancton, littoral, l'atoll des Glénans…), cinq aquariums et un bassin tactile. La visite inclut celle des anciens viviers, qui datent de 1859.
Station marine, place de la Croix. Rens. : 02.98.50.81.64.

Le Bourget (93)

Mars en mars
Le musée de l'Air et de l'Espace inaugure un nouveau rendez-vous annuel. Une journée dédiée à la planète Mars, mais aussi au Système solaire et à la conquête spatiale, en s'appuyant sur la vulgarisation de la recherche en la matière.
Musée de l'Air et de l'Espace, aéroport de Paris-Le Bourget, 3, esplanade de l'Air et de l'Espace, le 20 mars. Rens. : 01.49.92.7. 00.

Paris (75)

Mille et une orchidées
Le Jardin des plantes propose la neuvième édition de cette exposition florale. Un parcours de découverte a été conçu par l'expert Romain Maire et un autre par les botanistes du Muséum national d'histoire naturelle. L'arboretum de Versailles-Chèvreloup et le jardin botanique de la Ville de Paris dévoileront des raretés.
Grandes serres du Jardin des plantes, 57, rue Cuvier, jusqu'au 21 mars. Rens. : 01.40.79.56.01.

Wampum, perles de diplomatie en Nouvelle-France
Aux XVIIe et XVIIIe siècles en Amérique du Nord, une perle de coquillage de la côte Atlantique avait de multiples usages chez les nations autochtones, notamment en matière d'échange : le wampum. Une cinquantaine de pièces en révèlent l'importance, offrant un regard inédit sur les peuples amérindiens au temps des colonies européennes.
Musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac, 37, quai Branly, jusqu'au 15 mai. Rens. : 01.56.61.70.00.

Rennes (35)

La nature pour modèle
Des objets en cire, plâtre, papier mâché, verre… qui tous représentent l'anatomie des plantes ou des animaux afin de mieux la comprendre. D'un charme désuet, ces pièces du XIXe siècle avaient l'ambition de démocratiser science et connaissance dans les écoles.
Écomusée de la Bintinais, route de Châtillon-sur-Seiche, jusqu'au 4 septembre. Rens. : 02.99.51.38.15.

Les horloges du vivant
Les animaux, les plantes, toutes les formes de vie sur Terre suivent un rythme, calé sur des mécanismes de mesure du temps. Cette horloge interne sert à s'adapter à l'environnement. Plusieurs animations sont prévues pour cette exposition temporaire accessible à partir de 7 ans.
Espace des sciences, Les Champs Libres, 10, cours des Alliés, jusqu'au 28 août. Rens. : 02.23.40.66.00.

Paris (75) / Exposition

Juifs d'Orient, une histoire plurimillénaire

GROSS FAMILY COLLECTION TRUST (GFC TRUST)

Parmi les 280 pièces exposées, cette amulette sertie de turquoises (Iran, vers 1900).

Cette exposition événement clôt une trilogie dédiée aux religions monothéistes, après « Hajj, le pèlerinage à La Mecque » en 2014 et « Chrétiens d'Orient. Deux mille ans d'histoire » en 2017-2018. Déployées sur deux plateaux et plus de 1000 m², près de 280 pièces racontent l'histoire des Juifs d'Orient, des rives de l'Euphrate aux plateaux de l'Atlas. Une existence et un enracinement présentés sur le temps long, comme l'a souhaité l'historien Benjamin Stora, commissaire général : *« Cette exposition au cœur de Paris est aussi un moyen d'essayer de préserver un trésor mémoriel qui va disparaître. »* Le parcours débute par la présence judéenne en Égypte dès le Ve siècle avant J.-C., se prolonge en Arabie, en Syrie, au Maroc pour terminer sur « Le temps de l'Europe », celui des colonisations, de la Première Guerre mondiale, du démantèlement de l'Empire ottoman, de la montée des nationalismes et de leur impact sur les sociétés juives du monde arabo-musulman au tournant du XXe siècle (lire notre reportage sciav.fr/901juifs). ■ **Bernadette Arnaud**

Institut du monde arabe, 1, rue des Fossés-Saint-Bernard, jusqu'au 13 mars. Rens. : 01.40 51.38.38.

Scannez ce QR code et retrouvez toutes les expositions dans notre guide

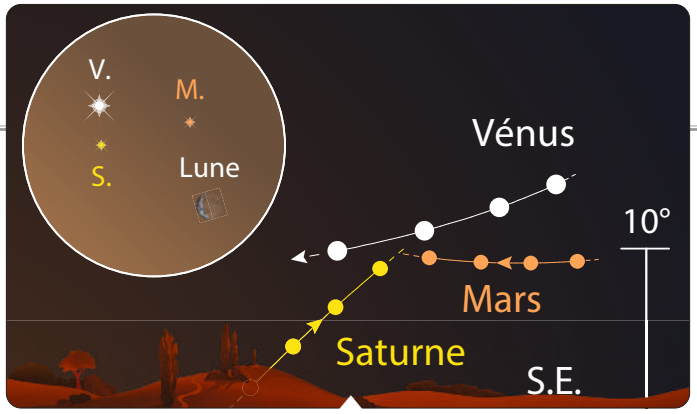
PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE Trop basse dans les lueurs du levant, la plus petite des planètes n'est, en pratique, pas observable ce mois.

VÉNUS L'étoile du Berger atteint sa plus grande distance (près de 47°) à l'ouest du Soleil le 20. Elle est visible le matin vers le sud-est. Mais, en raison de la faiblesse de l'inclinaison de l'écliptique sous nos latitudes, elle reste assez basse dans le ciel. Le 1er, Vénus passe au-dessus de l'horizon 2 h 15 avant le Soleil et 1 h 40 trente jours plus tard.

MARS La planète Rouge est observable en fin de nuit vers le levant, à 5° environ de Vénus, mais elle est 150 fois moins brillante que celle-ci. Mars quitte la constellation du Sagittaire pour celle du Capricorne dans la nuit du 5 au 6.



Nous sommes 30 min avant le lever du Soleil. Les positions de Vénus, Mars et Saturne sont indiquées pour les 1er, 11, 21 et 31. Le cercle, d'un diamètre de 15°, montre la position relative des 3 planètes et de la Lune le 28.

Un trio planétaire matinal

LES PLANÈTES VÉNUS, MARS ET SATURNE semblent s'être concertées pour se donner rendez-vous dans le ciel du matin en fin de mois. Vénus est, de loin, la plus brillante des trois. Elle attire immanquablement le regard et vous permettra de trouver les deux autres planètes. La Lune se joindra au trio le 28.

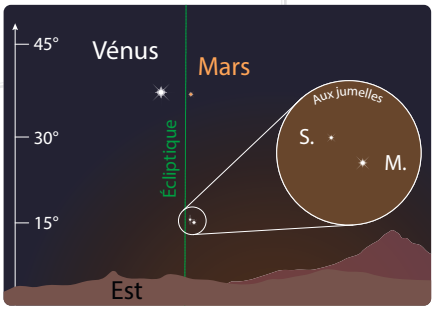
Notre conseil Un horizon sud-est bien dégagé est une condition indispensable au succès de l'observation. D'autre part, une paire de jumelles pourrait vous aider à dénicher Mars et Saturne dans un ciel déjà bien lumineux.

JUPITER La plus massive des planètes passe en conjonction avec le Soleil le 5. Elle n'est pas visible en mars. Nous la retrouverons le mois prochain, le matin, pour un joli rapprochement avec Vénus.

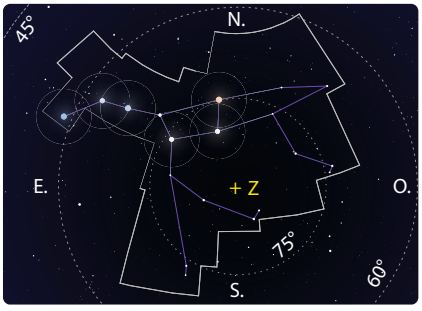
SATURNE Après sa conjonction avec le Soleil le mois dernier, la planète aux anneaux réapparaît timidement vers le levant au petit matin.

L'appli du mois

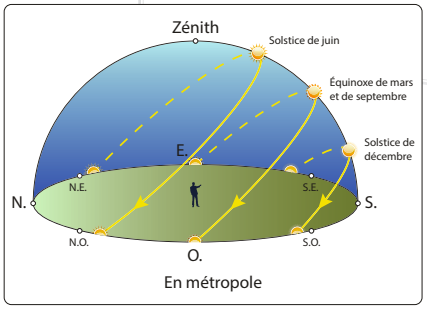
ESAKIDS est une application gratuite en français développée par l'Agence spatiale européenne pour iOS et Android. Elle donne la possibilité aux enfants de 3 à 10 ans de découvrir le Système solaire tout en s'amusant à assembler, à associer, à colorier pour les plus jeunes et, pour les plus âgés, à construire des engins spatiaux, à atterrir sur différentes planètes et à nettoyer les débris spatiaux.



SUR L'ÎLE DE LA RÉUNION, L'ÉCLIPTIQUE EST VERTICAL LE MATIN en cette saison, ce qui est idéal le 3 pour observer les planètes Vénus, Mars, Mercure (M) et Saturne (S).



LA GRANDE OURSE EST UNE IMMENSE CONSTELLATION, dont les sept étoiles les plus lumineuses semblent former une casserole. Elle trône près du zénith (Z) vers minuit.



LE 20 À 16 H 33, L'ÉQUINOXE DE MARS marque le début du printemps dans notre hémisphère. En ce jour, le Soleil se lève exactement à l'est et se couche exactement à l'ouest.

Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel de mars

Céline Guivarch, directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 3.

Christophe Cassou, directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec, groupe 1.

A. BILLET / UNIVERSCIENCE

CLIMAT PAR CÉLINE GUIVARCH ET CHRISTOPHE CASSOU

Les nouvelles sentinelles des émissions de gaz à effet de serre

Depuis 1957, nous mesurons en temps réel et depuis un grand nombre de stations la concentration de CO_2 dans notre atmosphère. Son augmentation continue a été un des premiers signaux d'alerte du changement climatique. Jusqu'à récemment, les émissions de gaz à effet de serre étaient déduites, dans les inventaires nationaux, de la multiplication de facteurs d'activité par des facteurs d'émissions. Par exemple, des litres d'essence vendus multipliés par le contenu en CO_2 d'un litre d'essence, ou des tailles de cheptel bovin multipliées par les émissions de méthane moyennes d'un animal.

Depuis quelques années, de nouveaux satellites et des mesures *in situ* offrent une estimation directe des sources des émissions de gaz à effet de serre. L'émergence de techniques de modélisation dites inverses permet aussi d'assurer la « conversion » concentration-émissions. Plusieurs équipes de recherche utilisent ainsi les données du satellite européen Sentinel-5P pour repérer les « super-émetteurs » de méthane dans différentes parties du monde ; on détecte notamment les panaches de méthane au-dessus d'exploitations de gaz et de pétrole dans l'Ohio, le Texas (États-Unis) et en Asie centrale, de mines de charbon en Australie, ou encore du permafrost en Arctique. Grâce à ces nouvelles sentinelles, il devient désormais impossible de « cacher » les sources d'émissions de gaz à effet de serre. Une avancée majeure pour tenir les pays et les entreprises responsables de leurs promesses en matière de climat. ■

Directrice de l'institut Henri-Poincaré, à Paris.

CAMILLE CIER/HANS LUCAS

MATHS PAR SYLVIE BENZONI

L'art de la modélisation du vivant

Il y a des mathématiques dans les sciences du vivant ! Ceci est apparu aux yeux du monde avec la pandémie de Covid-19. Mais il n'y a pas que l'exponentielle dans la vie. La complexité du vivant en fait une source inépuisable de problèmes posés à l'humanité, que ce soit pour soigner ou prévenir les maladies, pour préserver ou restaurer les écosystèmes, etc. Leur résolution suppose la compréhension et la prédiction de phénomènes microscopiques ou à plus grande échelle, ainsi que l'analyse des données produites par les laboratoires.

C'est du travail à l'interface entre la biologie, la médecine, les sciences physiques, l'informatique et les mathématiques. Si toutes ces disciplines jouent un rôle dans ce que l'on appelle la biologie quantitative, celui des mathématiques est crucial dans la partie modélisation : il s'agit de formaliser des hypothèses et d'en déduire des conclusions de manière irréfutable.

Comme dans toute recherche interdisciplinaire, les chercheurs et chercheuses doivent d'abord trouver un langage commun. Puis, une fois le problème posé, elles et ils doivent trouver un compromis entre des modèles trop grossiers, comme celui fondé sur le seul R_0 en épidémiologie, et des modèles trop détaillés, dépendant de paramètres artificiels ou qu'on ne sait pas mesurer. Enfin, il faut confronter les modèles à la réalité, pour tester la validité des hypothèses. La modélisation du vivant est tout un art, en plein essor. ■

ÉTHIQUE PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA

Libelles, canards, « fake news »… Les armes de la désinformation

Professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : Le Mythe de la singularité. *Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil, 2017.

BRUNO LÉVY

À l'heure de la campagne électorale ressurgit la crainte d'une déstabilisation des institutions démocratiques par des attaques informationnelles. Rien là de vraiment neuf ! Dès la plus haute Antiquité, dans son *Art de la guerre*, Sun Tzu recommandait de semer la discorde chez l'adversaire en y instillant de fausses nouvelles. Cependant, même si la tromperie est ancienne, au fil du temps, tant sa nature que les mots pour la dire ont changé. Avant la Révolution française circulaient dans Paris des « libelles », écrits courts et diffamatoires distribués sous le manteau, contre Marie-Antoinette. Tiré du roman de Balzac, le récent film de Xavier Giannoli, *Illusions perdues*, nous rappelle qu'au XIXe siècle la presse populaire faisait ou défaisait les réputations avec des « canards ». Au début du XXe siècle, des penseurs comme Walter Lippmann et Edward Bernays, le neveu de Freud — le détail ici n'est pas innocent —, théorisèrent la propagande et la publicité à l'heure des sociétés de masse. Pour eux, dans un monde trop complexe pour que tous le comprennent, l'opinion collective se fabrique en imprimant dans l'esprit du public des stéréotypes, des images et des associations subliminales, c'est-à-dire inconscientes. Au cours de la guerre froide, les grandes puissances en conflit usèrent de toutes sortes de stratagèmes pour diffuser de façon occulte des nouvelles fallacieuses en vue d'influencer le moral des populations, tant dans leur propre camp, pour le renforcer, que chez leurs adversaires, afin de l'affaiblir, voire de le briser. Cela contribua à l'essor ce qu'on appela la « désinformation ». Aujourd'hui, avec les réseaux sociaux vient la dissémination massive d'infox (*fake news* en anglais) qui n'est pas uniquement orchestrée par des États à destination de sociétés monolithiques comme l'était la Russie soviétique, mais aussi par de puissants groupes d'influence qui s'attaquent à des sociétés fragmentées pour les diviser plus encore. Bref, les mots changent, les procédés aussi, mais les maux subsistent, voire s'amplifient ! ■

L'ŒIL DE LASCAR

Une start-up pour tuer la mort ? C'est le projet fou d'Altos Labs, notamment financé par l'Américain Jeff Bezos, première fortune mondiale et créateur d'Amazon. Le laboratoire est censé mettre l'accélérateur pour une course au rajeunissement éternel. Altos Labs a été présenté le 19 janvier ; parmi les scientifiques embarqués dans l'affaire, on trouve plusieurs Nobel, dont Jennifer Doudna (prix Nobel de chimie 2020 conjointement avec Emmanuelle Charpentier pour ses travaux sur CRISPR-Cas9). Il est permis d'y voir un inquiétant siphonnage de la matière grise au service d'intérêts privés. **O. L.**

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

SANTÉ

Existe-t-il un remède à la « gueule de bois »?

Viktor M.

Aucun remède de « grand-mère » n'a fait preuve de son efficacité. Une étude britannique publiée début 2022 l'a encore confirmé après avoir passé au crible 21 essais examinant l'effet du clou de girofle, du citrate de bétaïne, du curcuma, du gingembre rouge, des anti-inflammatoires, etc. Dans aucun cas celui-ci n'a été supérieur à un placebo. « *Nous montrons que les preuves en faveur de tel ou tel remède contre la gueule de bois sont insuffisantes. En l'état, la méthode la plus sûre pour éviter les symptômes est de s'abstenir de boire de l'alcool* », concluait Emmert Roberts, l'auteur principal. Et sinon de boire beaucoup d'eau car l'alcool déshydrate fortement. ■ **Hervé Ratel**

HYDROLOGIE

Comment se forment les déserts?

Diego F.

Le processus qui conduit à transformer un paysage boisé en désert se déroule en plusieurs phases, selon une étude parue en 2020 dans *Science*. D'abord, quand les températures augmentent et que la disponibilité en eau baisse, la taille des feuilles d'arbres diminue. Mais à un certain stade, l'évapotranspiration devient trop forte au regard de l'eau disponible. Les plantes se regroupent alors et coopèrent pour résister. Ailleurs, la terre est à nu. Si l'aridité augmente encore, les racines cessent de retenir les couches superficielles et les teneurs en matière organique du sol s'effondrent. Enfin, à un niveau d'aridité extrême, la couverture végétale disparaît : c'est le désert. ■

Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

©NASA

L'absence d'oxygène et une pression quasi nulle dans l'espace tueraient immédiatement un astronaute non revêtu d'une combinaison.

PHYSIOLOGIE

Un astronaute peut-il sortir dans l'espace sans combinaison?

Romuald A.

Absence d'atmosphère et de pesanteur, voilà ce qui attend les astronautes qui s'aventurent dans l'espace. L'apesanteur signifie que l'on ne ressent plus les forces de gravité. Elle est déjà présente dans la Station spatiale internationale (ISS) et les astronautes y sont habitués. En revanche, le danger qu'ils doivent affronter lors d'une sortie est la dépressurisation. Comme son nom l'indique, le vide spatial est… vide. Impossible de respirer en l'absence d'oxygène. Ensuite, le fait de placer le corps dans une pression presque nulle aurait pour conséquence de faire baisser drastiquement la température d'ébullition des fluides corporels, jusqu'à passer en dessous de la température interne du corps : ils se mettraient donc… à bouillir! C'est ce qu'on appelle l'ébullisme. Ce phénomène tuerait l'astronaute en quelques secondes. La combinaison est donc indispensable pour respirer et maintenir une pression supportable. Mais ce n'est pas tout. Elle protège aussi des températures extrêmes : autour de l'ISS, elles vont de -150 °C dans les zones d'ombre à +150 °C pour celles ensoleillées. Sans protection, le corps gèlerait ou brûlerait selon son exposition. Enfin, les astronautes sont exposés encore plus que dans l'ISS aux rayonnements cosmiques. Constitués des particules à haute énergie venant essentiellement du Soleil, ils entraînent des conséquences encore mal connues sur le corps humain, notamment sur le système nerveux, voire sur l'ADN. ■

Léa Fournasson @FournassonL

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 900 Février 2022

Logique de suite

Les grands nombres font penser aux factorielles (produit des nombres jusqu'à un nombre), dont la suite est
1 2 6 24 120 720 ... 5040
et les écarts :
1 4 18 96 600 ... 4320

Un parterre de nombres

Une solution possible

	1	3	
9	7	11	5
12	4	2	8
	6	10	

Goutte-lettre

QUAND L HOMME A VOULU
IMITER LA MARCHE IL A CREE
LA ROUE QUI NE RESSEMBLE PAS
A UNE JAMBE IL A FAIT DU
SURREALISME SANS LE SAVOIR

Chocolat et citronnade

En réduisant les fractions, on obtient : 7/2 de kg de chocolat et 42/5 de litre de citronnade.

Si Alain a eu 42/5 de litre pour 7/2 de kg de chocolat, pour 1 kg, il a eu 7/2 fois moins de litres, soit (42 x 2)/(5 x 7), soit 84/35, soit encore 2 litres et 2/5.

De son côté, Baudoin a eu (7 x 5)/(2 x 42), soit 35/84, soit encore 5/12 de kg de chocolat pour 1 litre de citronnade.

Mots croisés au labo

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	A	N	T	I	P	R	O	T	O	N
2	T	E	S	L	A	■	V	A	G	I
3	T	U	E	S	■	D	E	P	I	T
4	R	T	T	■	A	R	■	O	V	E
5	A	R	S	E	N	I	A	T	E	S
6	C	O	E	X	I	S	T	E	■	C
7	T	N	■	P	O	S	E	■	B	E
8	I	■	T	O	N	■	C	E	R	N
9	O	B	I	■	■	D	I	R	A	C
10	N	U	C	L	E	O	T	I	D	E

Une formidable diversité

11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 892
Vaccins contre le cancer

N° 893/894
100 trésors scientifiques

N° 895
Explorer l'espace

N° 896
Les super pouvoirs du cerveau

N° 897
Tempêtes, chaleur extrême, inondations

N° 898
Découverte d'un continent englouti

N° 899
Les 10 découvertes de l'année 2021

N° 900
Gravitation : la théorie qui dépasse Einstein

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
service des abonnements
45 av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 892 ❑ N° 893/894 ❑ N° 895 ❑ N° 896
❑ N° 897 ❑ N° 898 ❑ N° 899 ❑ N° 900

Nom : .....
Adresse : .....
..... Ville : .....
Code postal : .....

PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

Repas de famille

Autour de la table d'un repas de famille se trouvent réunis :

- une grand-mère
- un grand-père
- deux pères
- deux mères
- une belle-mère
- un beau-père
- un beau-fils
- quatre enfants

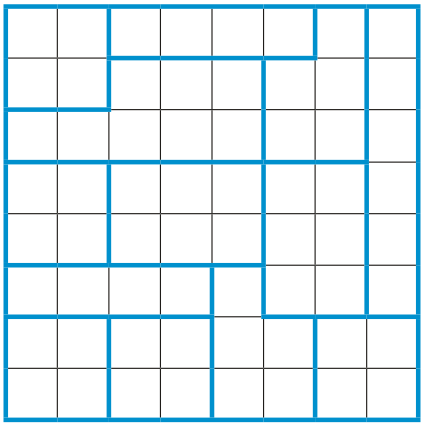
Si l'on compte bien, combien de personnes, au minimum, peut-on s'attendre à voir autour de la table ?

Norinori

Saurez-vous compléter ce norinori 8x8 ? Cela consiste à poser des dominos constitués de deux cases colorées de telle sorte que :

- chaque zone, délimitée par des traits bleus épais, contient exactement deux cases colorées ;
- un domino peut être à cheval sur deux zones ;
- les dominos se touchent au plus par un angle mais jamais horizontalement ou verticalement.

Il y a plusieurs solutions.



Jules, Grégoire, Philippe ...

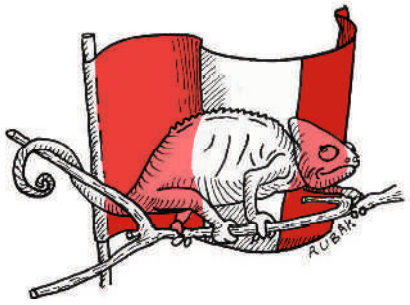
Comment compléter cette suite ?

V B F N P V G F P ... ...

Drapeaux

On se propose de réaliser des drapeaux formés chacun de trois bandes verticales colorées, où deux couleurs identiques ne se touchent pas.

Si les cinq couleurs bleu, blanc, rouge, vert et noir sont disponibles, combien de drapeaux différents peut-on constituer ?



Constellations

Dans chacun de ces ensembles, des noms de constellations se lisent en suivant des lettres qui se touchent — droite, gauche, haut et bas.

À gauche, nous avons 11 constellations avec leur nom en latin et à droite, il y en a 14 avec leur nom français (sans l'article). Trouvez les deux constellations qui sont également à droite et à gauche.

D I R E S U I O C S O M
A O S E E H P R C O N O R
N C D L R O N R E R A J I M
U A R U C R I O U O M I N E G
S S P O I S M N R S A S R U
L I A L N A C I S N E E S
A D R E M A C M A S P R

C Y H Y P E T C E N O C O N
G N D E T I H I B L O I L
E R E I S C U O B M N O
E P O S A C L E E R A
L I E A F E E I V I G P
B A L V R I T R E A P E E
E C N A R E G A U R U O U P

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

A vos côtés, pour votre santé !

Depuis 1992, nous vous offrons le meilleur des plantes, vitamines et minéraux, pour une santé chaque jour renforcée !

OFFRE DÉCOUVERTE dès **5€**

LABORATOIRES ILAPHARM

www.ilapharm.com

**Offre valable 1 mois, 1 seule fois, réservée aux nouveaux clients. Non cumulable avec d'autres offres promotionnelles en cours.*

Jambes légères
VIGNE ROUGE BIO

Active votre circulation sanguine pour des **jambes légères et confortables**.

5€ 45 gélules ~~11,20€~~

Mobilité articulaire
HARPAGOPHYTUM BIO

Conservez des **articulations souples, mobiles** et en bonne santé. *(3)*

5€ 45 gélules ~~11,40€~~

Brûle-graisse
GUARANA BIO

Boostez **l'élimination des graisses et la perte de poids**. *(1), (2), (5).*

6€ 45 gélules ~~12,10€~~

Libido
MACA BIO

Source d'énergie et aphrodisiaque, elle **stimule le désir sexuel**.

6€ 45 comprimés ~~13,10€~~

Os et articulations
SILICIUM ORGANIQUE et Vitamine C

Vitamine C (formation du collagène) et **Silicium** (constituant naturel) pour vos os et cartilages.

7€ 45 gélules ~~15,50€~~

Sommeil
PASSIFLORE BIO

Calmante et apaisante, elle procure **un sommeil de qualité**. Ni accoutumance, ni somnolence.

6€ 45 gélules ~~11,80€~~

Prostate
HUILE DE COURGE BIO

Aide au bon fonctionnement de la **prostate** et de la **vessie**. Pour un **bon confort urinaire**.

5€ 45 capsules ~~11,50€~~

Fatigue nerveuse
MAGNÉSIUM MARIN et B6

Il contribue au bon fonctionnement de votre **système nerveux**. *(6), (8).*
*Allergène : **poisson**.*

6€ 45 gélules ~~11,40€~~

Cholestérol
AIL NOIR BIO

Il aide au maintien d'un **taux normal de cholestérol** et possède un **effet cardioprotecteur**. *(10).*

6€ 30 gélules ~~11,50€~~

Vigueur sexuelle
SAFRAN BIO

Le Safran Bio aide à **améliorer l'érection** et **stimule le désir sexuel**. *(2), (4).*

7€ 30 gélules ~~16,50€~~

Vitalité - Immunité
GINSENG SIBÉRIEN BIO

Stimulant et **énergisant**, il aide au bon fonctionnement du **système immunitaire**.

6€ 45 gélules ~~12,40€~~

Foie - Draineur
ARTICHAUT - RADIS NOIR BIO

L'artichaut favorise le **fonctionnement du foie et détoxifie**.

6€ 10 ampoules ~~14,30€~~ *(2), (9).*

Capacité sexuelle
TRIBULUS

Elle favorise le **désir**, la **capacité** et les **performances sexuelles** et participe à la bonne santé des organes reproducteurs.

7€ 60 gélules ~~16,50€~~

Un esprit vif
GINKGO BILOBA BIO

Arbre de jouvence, il favorise votre circulation cérébrale pour **un esprit vif et alerte**. *(2), (4), (7).*

6€ 45 gélules ~~11,70€~~

Articulations
FRÊNE BIO

Pour le bon fonctionnement des articulations. **Gardez le plaisir de bouger !**

5€ 45 gélules ~~11,30€~~

Défenses naturelles
ÉCHINACÉA BIO

Aide au bon fonctionnement du système de **défenses naturelles et respiratoire** (bouche et gorge).

6€ 45 gélules ~~11,70€~~

Vos 3 Cadeaux

LE PLAID "Douceur"

OFFERT

Matière : *Polaire 180 gsm*
Dimensions : *115 x 85 cm*
Coloris : *Gris*

Les Frais de Port
Dès 15€ d'achat
OFFERTS

0€

dès 5€ Tous vos produits
ÉCONOMISEZ PLUS DE 50%

Harpagophytum BIO	~~11,40~~	5,00€
Artichaut - Radis Noir BIO	~~14,30~~	6,00€
Vigne Rouge BIO	~~11,20~~	5,00€
Safran BIO	~~16,50~~	7,00€
Tribulus	~~16,50~~	7,00€
LE PLAID "Douceur"		**OFFERT**
Frais de port	~~5,80~~	**OFFERTS**
TOTAL	~~75,70~~	**30,00€**

(1) Déconseillé aux enfants de moins de 12 ans. (2) Déconseillé aux femmes enceintes ou allaitantes. (3) Déconseillé en cas d'ulcère gastrique ou duodénal et de calculs biliaires. (4) Ne pas associer avec des antidépresseurs. (5) Contient de la caféine (50 mg par jour). (6) Déconseillé aux insuffisants rénaux. (7) Ne pas associer avec des anticoagulants. (8) Possible effet laxatif. (9) Déconseillé en cas de troubles de la thyroïde. (10) Consultez votre médecin ou pharmacien en cas de prise simultanée d'anticoagulants. Les éventuelles traces d'allergènes sont indiquées sur l'étiquetage des produits.

OFFRE DÉCOUVERTE SANS ENGAGEMENT - BON DE COMMANDE

Vos coordonnées ☐ M^me ☐ M^r

Nom, Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code Postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....

Votre date d'anniversaire : |_|_|_|_|19|_|_|

E-mail* : .....

pour recevoir les **Newsletter ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**

et des **partenaires d'ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON** **Recommandé pour la livraison.*

Choisissez votre mode de paiement

☐ **Par carte bancaire (débit immédiat uniquement) :**

N° |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Date d'expiration : |_|_|_|_|

Chiffres inscrits au dos de ma carte : |_|_|_|

Signature :

☐ **Par chèque, je choisis :** ○ débit immédiat ○ débit dans 1 mois à l'ordre des Laboratoires ILAPHARM

NOM DU PRODUIT	RÉF.	QTÉ	PRIX RÉDUIT	TOTAL
Vigne Rouge BIO	PVRB45		5€	
Harpagophytum BIO	PHAB45		5€	
Guarana BIO	PGUB45		6€	
Maca BIO	PMAB45		6€	
Silicium Organique et Vitamine C	PSV45		7€	
Passiflore BIO	PPAB45		6€	
Huile de Courge BIO	PPCB45		5€	
Magnésium Marin et B6	PMM45		6€	
Ail Noir BIO	PANB30		6€	
Safran BIO	PSFB		7€	
Ginseng Sibérien BIO	PGSB45		6€	
Artichaut - Radis Noir BIO	PXRAB		6€	
Tribulus	PTR		7€	
Ginkgo Biloba BIO	PGBB45		6€	
Frêne BIO	PFNB45		5€	
Echinacéa BIO	PECB45		6€	
☐ Je reçois **GRATUITEMENT** mon **PLAID "Douceur"** et mon **CATALOGUE**				**OFFERTS**
☐ Ma commande atteint 15€, **j'économise 5,80€ sur les frais de port**				**OFFERTS**
☐ Ma commande est inférieure à 15€, **je rajoute 5,80€**				
CODE PRIVILÈGE : **CS429**			**TOTAL À RÉGLER**	..... €

Laboratoires ILAPHARM SAS au capital de 38 112€, RCS Nanterre B 384 620 878 - 27 rue de Solférino - 92100 Boulogne. Tél Sce client 01.49.09.11.11. Offre et frais de livraison valables en France Métropolitaine. En cas d'indisponibilité de votre cadeau, nous pourrons le remplacer par un autre d'une valeur similaire. Pour recevoir votre cadeau sans commander, joignez un chèque de 5,80€ de frais, envoi sous 90 jours. Photos non contractuelles. Pour exercer les droits que vous confère le Règlement européen sur la protection des données, veuillez nous écrire, téléphoner au 01.49.09.11.11 ou consulter nos conditions générales de vente sur notre site internet. Vous bénéficiez des dispositions de la garantie légale de non-conformité et des vices cachés dont la mise en œuvre et le contenu sont prévus aux articles L. 217-4 et suivants du Code de la consommation. Vous disposez d'un délai de rétractation de 30 jours après livraison de votre commande pour retourner les produits pour remboursement ou échange sans pénalités, sauf frais de retour. Traitée dans les 24h suivant sa réception, vous recevez votre commande après 72h d'acheminement environ. Les Laboratoires ILAPHARM adhèrent à la fédération du e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) et au service de médiation du e-commerce (60 rue de la Boétie - 75008 Paris-relationconso@fevad.com). Pour votre santé, mangez au moins 5 fruits et légumes par jour, consultez www.manger-bouger.fr. Conditions générales de vente : www.ilapharm.com/conditions-generales-de-vente.html Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres des Laboratoires Ilapharm, cochez cette case ☐ ou écrivez-nous. Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres de nos partenaires (commerciaux ou organismes) : cochez cette case ☐ ou écrivez-nous.

NOS GARANTIES :

PAYEZ DANS 1 MOIS

*Envoyez votre **règlement par chèque**, **avec votre bon de commande**, il ne sera encaissé que dans 1 mois.*

Charte Qualité fevad · synadiet · Traitement Rapide 24h COLIECO

POUR COMMANDER :

Par internet :
www.ilapharm.com

Par téléphone :
01 49 09 11 11
Du lundi au vendredi : 9h -13h et 14h -18h

Par courrier :
Laboratoires ILAPHARM
C/O BSL, BP 60475, 35171 BRUZ CEDEX

Les contenants en plastique (PE, PP, PEHD), verre, papier, carton, les couvercles des flacons plastiques ainsi que tous les documents papiers sont recyclables.

ELU PRODUIT DE L'ANNÉE 2022
PRODUIT BIO

DÉCOUVREZ L'OR BIO, UN PUR PLAISIR

L'OR SANS DOUTE LE MEILLEUR CAFÉ DU MONDE

JACOBS DOUWE EGBERTS FR SAS L 30 BIS, RUE DE PARADIS, 75010 PARIS, FRANCE L 810 029 413 RCS PARIS L SAS AU CAPITAL DE 16 594 157,70 EUROS.